

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 01.04.02. Прикладная математика и информатика
Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка и исследование алгоритмов решения геодезических задач на дистанционных измерениях

УДК 004.421:528.2/.5:53.08

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ61	Иванова Алена Дмитриевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ИШИТР	Рыбалка Сергей Анатольевич	К. Т. Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель ШИП	Шаповалова Наталья Владимировна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ИШНКБ	Авдеева Ирина Ивановна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ИШИТР	Коваль Тамара Васильевна	д. ф.-м. н.		

Планируемые результаты обучения по направлению подготовки
01.04.02 Прикладная математика и информатика

Код результата	Результат обучения
Общекультурные компетенции	
ОК-1	Способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу.
ОК-2	Готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения.
ОК-3	Готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК-1	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности.
ОПК-2	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия.
ОПК-3	Способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять своё научное мировоззрение.
ОПК-4	Способность использовать и применять углубленные знания в области прикладной математики и информатики.
ОПК-5	Способность использовать углублённые знания правовых и этических норм при оценке последствий своей

	профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов.
Профессиональные компетенции	
ПК-1	Способность проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.
ПК-2	Способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач.
ПК-3	Способность углубленного анализа проблем, постановки и обоснования задач научной и проектно-технологической деятельности.
ПК-4	Способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых задач проектной и производственно-технологической деятельности.
ПК-5	Способность управлять проектами, планировать научно-исследовательскую деятельность, анализировать риски, управлять командой проекта.
ПК-6	Способность организовывать процессы корпоративного обучения на основе технологий и развития корпоративных баз знаний.
ПК-7	Способность разрабатывать и оптимизировать бизнес-планы научно-прикладных проектов
ПК-8	Способность разрабатывать корпоративные стандарты и профили функциональной стандартизации приложений, систем, информационной инфраструктуры.
ПК-9	Способность к преподаванию математических дисциплин и информатики в образовательных организациях основного общего, среднего общего, среднего профессионального и высшего образования.

ПК-10	Способность разрабатывать учебно-методические комплексы для электронного и мобильного обучения.
ПК-11	Способность разрабатывать аналитические обзоры состояния области прикладной математики и информационных технологий.
ПК-12	Способность к взаимодействию в рамках международных проектов и сетевых сообществ.
ПК-13	Способность осознавать корпоративную политику в области повышения социальной ответственности бизнеса перед обществом, принимать участие в её развитии.

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 01.04.02. Прикладная математика и информатика
Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий

(Подпись) _____
(Дата) Коваль Т.В.
(Ф.И.О.)

В форме:

Студенту:

Группа	ФИО
8БМ61	Ивановой Алене Дмитриевне

Тема работы:

Разработка и исследование алгоритмов решения геодезических задач на дистанционных измерениях

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы: (дата)

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p>	<p>Инструкции по применению инструментов для геодезических измерений; технологии проведения геодезических измерений на местности и расчетов координат; методы решения задачи засечки по дистанционным измерениям.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>Разработка методики исследования влияния условий проведения измерений на погрешность результатов расчетов; разработка процедур и проведение анализа влияния конфигурации опорных точек на погрешность окончательных вычислений; разработка процедур программы для</p>

	вычисления координат геодезических пунктов по результатам измерений; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность.
Перечень графического материала	Мультимедийная презентация в формате .pptx
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Шаповалова Наталья Владимировна
Социальная ответственность	Авдеева Ирина Ивановна
Английский язык	Комиссарова Ольга Валентиновна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ ТОЧКИ ПО ДИСТАНЦИОННЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ИШИТР	Рыбалка Сергей Анатольевич	К. Т. Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ61	Иванова Алена Дмитриевна		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика
Уровень образования магистратура
Отделение школы (НОЦ) информационных технологий
Период выполнения весенний семестр 2018 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.05.18г.	Основная часть	60
25.05.18г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
30.05.18г.	Социальная ответственность	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ИШИТР	Рыбалка Сергей Анатольевич	К. Т. Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ИШИТР	Коваль Тамара Васильевна	д. ф.-м. н		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 129 с., 17 рис., 27 табл., 33 источника, 6 приложений.

Ключевые слова: геодезия, дистанция, измерение, СЛАУ, число обусловленности, норма матрицы.

Объектом исследования являются методики выполнения вычислений координат неизвестной точки.

Цель работы – исследование особенностей алгоритмов расчета координат неизвестной точки по результатам дистанционных измерений; программная реализация процедур для выполнения таких исследований.

В процессе исследования проводился анализ влияния конфигурации известных точек на точность вычисления координат определяемой точки.

В результате исследования разработан алгоритм определения координат неизвестной точки по результатам дистанционных измерений через составление СЛАУ. Выполнена программная реализация в среде Mathcad. Разработано приложение для вычисления координат геодезических пунктов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: предлагаемый подход к решению задач геодезии имеет высокую степень новизны, так как значительно упрощает трудоемкие расчеты путем автоматизации вычислительного процесса.

Степень внедрения: планируется внедрение в организации, выполняющие геодезические и маркшейдерские работы.

Область применения: данный инструментарий можно отнести к геодезической отрасли, в частности, проведенные исследования представляют интерес для инженеров-геодезистов.

Экономическая эффективность работы заключается в снижении ручного труда, увеличении скорости выполнения работ, повышении точности получаемых результатов.

В будущем планируется доработка программного продукта для внедрения в эксплуатацию на предприятиях.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Маркшейдерия: раздел горной науки, изучающий на основе натурных измерений и последующих геометрических построений структуры, формы и размеры месторождений полезных ископаемых, расположение выработок, процессы деформации горных пород и земной поверхности в связи с горными работами.

Геодезия: наука о методах и технике производства измерений на земной поверхности, выполняемых с целью изучения фигуры Земли, изображения земной поверхности в виде планов, карт и профилей, а также решения прикладных задач.

Дистанционные измерения: измерения длины линий в полигонометрических и теодолитных ходах при построении маркшейдерских опорных сетей и развитии съемочного обоснования на земной поверхности и в горных выработках.

Теодолитные ходы: система надежно закрепленных точек и линий, представляющих собой многоугольник с измеренными теодолитом поворотными углами (правыми по ходу) и вычисленными координатами.

Реперная точка: знак, который закрепляет определенную точку земной поверхности с известной абсолютной высотой.

Сокращения

СЛАУ – система линейных алгебраических уравнений;

БД – база данных.

Оглавление

Введение.....	14
1 Обзор литературы	17
2 Объект и методы исследования	21
2.1 Методы проведения дистанционных геодезических измерений	22
2.2 Методы обработки геодезических данных по результатам дистанционных измерений.....	27
3 Разработка методов вычисления координат определяемой точки по дистанционным измерениям	30
3.1 Геометрическая интерпретация задачи засечки для дистанционных измерений.....	30
3.2 Первый вариант решения задачи засечки на дистанционных измерениях	34
3.3 Второй вариант решения задачи засечки на дистанционных измерениях	36
3.4 Решение задачи засечки с учетом смещения прибора измерения	39
3.5 Обусловленность матриц коэффициентов	41
4 Проведение исследований линейных систем для решения задач геодезии.....	43
4.1 Разработка программ для решения задач геодезии и исследования свойств систем уравнений	44
4.4.1 Описание программ, имитирующих серии измерений.....	45
4.4.2 Описание формируемых файлов	49
4.2 Проведение экспериментов по исследованию влияния конфигурации известных точек на обусловленность матрицы	51
4.4.1 Равновероятное распределение точек.....	51
4.4.2 Точки, сконцентрированные в небольшой области	53
4.4.3 Измерения с одной кратной точкой	54
5 Реализация программы обработки геодезических измерений	57

5.1	Разработка требований к проекту обработки геодезических измерений	57
5.2	Проектирование программы расчета координат по результатам геодезических измерений.....	59
5.2	Программная реализация методов расчета координат по результатам измерения дистанций.....	60
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	64
6.1	Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	64
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	64
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	65
6.1.3	SWOT – анализ.....	66
6.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	69
6.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	69
6.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	70
6.3.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	70
6.3.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	70
3.4.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	73
6.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования.....	74
7	Социальная ответственность	78
7.1	Производственная безопасность	78
7.1.1	Повышенный уровень шума на рабочем месте	79
7.1.2	Повышенный уровень электромагнитных излучений	80
7.1.3	Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	81
7.1.4	Неблагоприятный микроклимат.....	84
7.1.5	Статические физические перегрузки	85

7.1.6 Перенапряжение зрительных анализаторов.....	85
7.1.7 Повышенный уровень статического электричества.....	86
7.1.8 Опасность поражения электрическим током.....	87
7.1.9 Опасность возникновения короткого замыкания.....	88
7.2 Экологическая безопасность.....	89
7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	90
7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	92
7.4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	92
7.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	93
Заключение	95
Список использованных источников	97
Приложение А	100
Приложение Б	112
Приложение В.....	115
Приложение Г	122
Приложение Д.....	128
Приложение Е.....	129

Введение

Геодезия – наука о методах и технике производства измерений на земной поверхности, выполняемых с целью изучения фигуры Земли, изображения земной поверхности в виде планов, карт и профилей, а также решения прикладных задач.

Большое количество видов наземных работ опираются на результаты проведения топографических и геодезических исследований. Комплекс таких работ составляет суть инженерно-геодезических изысканий. Измерения проводятся по единой схеме. В каждом отдельном случае порядок и последовательность операций уточняется, исходя из технического задания, а также физико-географических особенностей местности, на которой проводятся исследования. Такие работы дают возможность получить исчерпывающую информацию о рельефе местности, а также наличии инженерных коммуникаций, строений и т.д., когда такие работы выполняются на промышленных территориях или в жилой местности.

В своем развитии геодезия опирается на достижения ряда научных дисциплин, одной из которых является математика. Математика вооружает геодезию средствами анализа и методами обработки результатов геодезических и маркшейдерских измерений. Математические методы, традиционно используемые в геодезии, не позволяют сильно упростить и ускорить этот этап и максимально эффективно использовать вычислительную технику. В отделении информационных технологий ведутся работы по разработке новых подходов к обработке результатов.

Актуальность работы заключается в необходимости разработки новых методик расчета координат неизвестных точек по результатам геодезических измерений.

Целью работы является исследование особенностей алгоритмов расчета координат неизвестной точки по результатам дистанционных измерений; программная реализация процедур для выполнения таких исследований.

Для выполнения поставленной цели необходимо выполнить следующие **задачи**:

- изучить методы проведения измерений на объектах разной природы, в частности дистанций между геодезическими пунктами;
- изучить новые подходы и способы решения базовых задач геодезии через формирование систем линейных уравнений по результатам измерений;
- разработать методику проведения исследования влияния техники измерения на погрешность результатов расчетов;
- разработать соответствующие процедуры и провести анализ влияния конфигурации опорных точек на погрешность окончательных вычислений.

Объектом исследования данной работы являются методики выполнения вычислений координат неизвестной точки. **Предмет исследования** – схемы и технологии проведения серий геодезических измерений; алгоритмы выполнения расчетов по результатам измерений.

Научная новизна заключается в сведении решения задач геодезии и навигации к задачам линейной алгебры – автоматизированному формированию коэффициентов систем линейных алгебраических уравнений по результатам измерений (и расстояний, и углов, в том числе и пространственных) и решению этих систем.

Практическая значимость результатов

Разработанный программный инструментарий позволит проводить исследования свойств разрабатываемой методики выполнения геодезических расчетов: синтезировать наборы данных, имитирующих результаты измерений, получаемые на практике; получать решения и изучать их свойства. Созданная унифицированная технология формирования СЛАУ по наличию информации о координатах известных точек и характеру проведенных измерений позволяет эффективно автоматизировать процесс расчетов.

Реализация и апробация работы

Разработан алгоритм определения координат неизвестной точки по результатам дистанционных измерений через составление СЛАУ. Выполнена

программная реализация в среде Mathcad. Разработано приложение для вычисления координат геодезических пунктов по результатам разнородных измерений.

1 Обзор литературы

В настоящее время существует большое количество литературных источников, которые описывают приемы и методы проведения измерительного процесса, например, [1, 2, 3]. Здесь и в других пособиях описаны типовые задачи, возникающие на основе проведенных измерений, в частности, расстояний. Подробно рассмотрены приборы для проведения таких измерений, а также способы измерения длин линий местности. Также показаны методы и технологии решения задач прямой и обратной засечки по результатам таких измерений [4, 5].

При выполнении геодезических измерений для однозначного определения искомых величин достаточно выполнить некоторое количество измерений, которые называются необходимыми измерениями. Однако на практике одну и ту же величину измеряют многократно – два и более раз. Отсюда возникают избыточные измерения, что приводит к возникновению неоднозначностей в расчетах. Поэтому при обработке геодезических данных большое значение имеет решение проблемы устранения невязок. Существует большое количество методов их устранения, которые хорошо описаны в литературе, например, в справочном пособии Маркузе [3].

Геодезические работы являются основой при решении задач землеустройства. Землеустройство – это система мероприятий государственной важности, которые направлены на урегулирование земельных отношений для учета и оценки земельных ресурсов. Все работы, которые проводятся в управлении земельными участками, непосредственно имеют связь с геодезией. К основным видам геодезических работ, которые выполняются при землеустройстве можно отнести составления плана и определения площади, например, когда необходимо составить план землевладения. От такой работы зависит точное расположение участков, перпендикулярность и параллельность сторон, совместное расположение с другими соседними площадями, которые указаны в плане [12].

В связи с увеличением объемов проводимых геодезических работ, также усиливаются требования к сокращению времени их выполнения, что, в свою очередь, влечет к увеличению интенсивности проведения обработки полученных данных. Сократить время выполнения расчетов можно только за счет автоматизации процесса обработки геодезических данных. Использование автоматизированных методов обработки измерений сводится к поиску и реализации новых, более точных и универсальных алгоритмов, подходящих для компьютерной реализации. Обоснованность целесообразности решения геодезических задач на компьютере продиктована следующими факторами:

- функциональной связью геодезических задач с автоматизированной системой управления предприятия или отрасли;
- полученным экономическим эффектом;
- экономией труда специалистов высокой квалификации;
- ускорением процесса камеральной обработки результатов маркшейдерских измерений;
- повышением точности результатов за счет применения более совершенных способов математической обработки;
- повышением качества документации [6].

В учебном пособии Г.Г. Подклад и С.П. Гриднева [2] подробно рассмотрены вопросы теории, а также весьма полно описаны геодезические методы и инструменты, применяемые как при землеустройстве, так и при производстве самого широкого спектра геодезических работ в различных народно-хозяйственных отраслях. Также изложены теория и методика выполнения геодезических измерений, вопросы производства топографических съемок с использованием традиционных и автоматизированных методов. Представлены сведения из теории погрешностей геодезических измерений, а также дан обзор основных координат геодезии и методов преобразования координатных систем.

Основные методы обработки геодезических измерений представлены в справочном пособии «Уравнивание геодезических построений»

Большакова В.Д. и др. [5]. Здесь же изложены основные положения математической статистики, теории ошибок измерений применительно к геодезическим дисциплинам. Несколько разделов посвящено аспектам уравнительных вычислений, общей теории уравнивания с учетом различных ошибок, описаны алгоритмы уравнивания геодезических сетей.

Вопрос решения геодезических задач был предметом специального рассмотрения на Генеральной Ассамблее Международного союза геодезии и геофизики в Торонто. Общий вывод о том, что для каждого конкретного случая следует выбирать соответствующие формулы, был, безусловно, верным при ручных способах счета. При использовании современной вычислительной техники в арсенале практических приложений должно остаться наименьшее число наиболее универсальных методов. Было бы идеальным, при любых расстояниях и при любой конфигурации сети реперных точек решать задачи одним способом. Но, ввиду большого спектра приложений решения геолого-геодезических задач и значительного отличия решений по эффективности, используются разные методы построения их моделей при больших и малых расстояниях.

Кроме того, повысились требования к общности решений и временным затратам. Так как время является универсальным показателем эффективности любого труда, то эффективность решения задач обеспечивается формулами, которые при любых средствах вычислений требуют наименьших временных затрат [9].

В настоящее время геодезической службой выполнены огромные работы по обеспечению территории страны пунктами геодезической опорной сети; завершено картографирование страны в масштабах 1:100000 – 1:625000, в большом объеме проводятся топографические съемки в масштабе 1:10000. Высокие темпы производства съемочных работ и их высокое качество достигнуты благодаря внедрению и широкому использованию ЭВМ [2].

Решение задач геодезии опирается на решение серии задач тригонометрии. Методы решения прямой и обратной геодезической задачи

достаточно подробно описаны в учебном пособии Г.Г. Подклад и С.П. Гриднева [2]. Но решение отдельных задач удается свести к решению систем линейных алгебраических уравнений. Построение СЛАУ и методы их решения – это отдельный большой раздел математики. СЛАУ и методы их решения составляют основную роль во многих прикладных направлениях [10, 11]. Решение классических задач геодезии (задач засечки) – задач с угловыми и дистанционными измерениями на неизвестную точку с помощью СЛАУ представлено в статьях [13, 16].

2 Объект и методы исследования

Важный вклад геодезии в технологические процессы заключается в обеспечении координатными основами и системами отсчета различные сферы человеческой деятельности. Методы, используемые в геодезии, опираются на широкий спектр достижений математики и физики, обеспечивающих изучение геометрических, кинематических и динамических свойств Земли в целом и отдельных ее участков [1]. Одним из разделов геодезии является маркшейдерия, в круг задач которой входит определение пространственно-геометрического положения объектов и осуществление необходимых геодезических и маркшейдерских измерений, обработка и интерпретирование их результатов на различных этапах строительства и эксплуатации открытых и подземных объектов.

В настоящее время существует множество видов измерений, различаемых физическим характером измеряемой величины и факторами, определяющими разнообразные условия и режимы измерений. Основными видами измерения физических величин являются: прямые, косвенные, совокупные, совместные, абсолютные, относительные. Проводятся измерения дистанционные и дирекционные. Для повышения точности проводят избыточное количество измерений. Расчеты сводятся к решению серии тригонометрических задач.

Решение классических задач геодезии (задач засечки) – задач с угловыми и дистанционными измерениями на неизвестную точку с помощью СЛАУ представлено в статьях [13, 16]. Данная работа является продолжением этих работ по решению задач геодезии с помощью систем линейных уравнений, а также распространение этой технологии, когда измерения проводятся не на одну точку, а уже на серию точек, формирующих целые сети или теодолитные ходы.

Из вышеизложенного вытекает следующая постановка задачи: реализовать процедуры выполнения расчетов координат неизвестной точки по

результатам измерения дистанций от известных точек, синтезировать наборы данных, имитирующих результаты измерений, получаемые на практике.

2.1 Методы проведения дистанционных геодезических измерений

Линейные измерения выполняют при производстве различных геодезических работ. Расстояния в геодезии измеряют непосредственным способом, либо косвенным.

Непосредственное измерение расстояния между двумя обозначенными точками производится механическими приборами (стальными лентами, рулетками, мерными проволоками). Чаще всего применяют стальные ленты землемерные (рисунок 1) длиной 20, 24, 50 м, шириной 10–15 мм. и толщиной 0,4–0,5 мм.

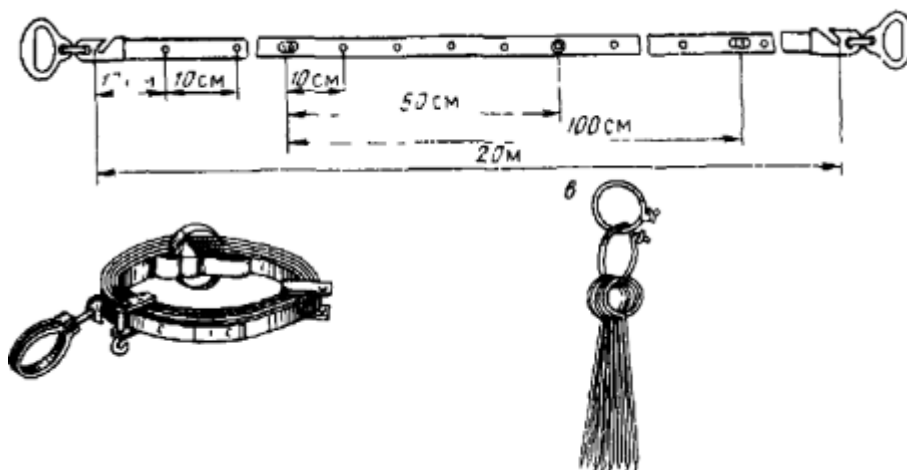


Рисунок 1 – Лента мерная и шпильки

Длина ленты равна расстоянию между штрихами на ее концах, против концевых штрихов имеются вырезы для шпилек, которыми лента закрепляется на поверхности земли при измерениях. На ленте специальными пластинами отмечены метры, круглыми заклепками – полуметры и отверстиями – дециметры. Отсчеты с точностью до сантиметров оцениваются на глаз, как десятые доли дециметра.

Перед использованием мерные приборы должны быть поверены путем сравнения их длины с эталоном, длина которого известна с высокой точностью. Такое сравнение называют компарированием.

Процесс измерения состоит в последовательном откладывании мерного прибора в створе линии. Для контроля и повышения точности каждую линию измеряют дважды – в прямом и обратном направлениях. Точность измерения линии двадцатиметровой лентой не должна превышать 1:2000 при благоприятной местности (болото, скошенный луг, невысокие посевы и т.п.) и 1:1000 при неблагоприятной местности (вспаханная, заболоченная кустарником и т.п.). Если расхождение не выходит за допустимые пределы, то из двух измерений вычисляют среднее арифметическое, принимаемое за окончательное значение. В случае недопустимых расхождений линию измеряют в третий раз.

При измерении линий лентой углы наклона менее $1,5^\circ$ не принимаются во внимание и в результате измерения поправка не вводится, так как неучет наклона в 1° ведет к относительной погрешности горизонтального положения 1:7000, что значительно меньше допустимой погрешности измерения длин лентой [19].

При измерениях на местности также возникают случаи, когда для измерения линий невозможно использовать ленту из-за препятствий, пересекаемых линией – река, болото, лес. В таких случаях используют косвенный метод измерения. При косвенном измерении длина линии определяется как функция установленных геометрических или физических соотношений. Геометрические соотношения используют для аналитических вычислений искомых расстояний по измеренным базисам и углам, а также в оптических дальномерах. Физические соотношения для измерения расстояний положены в основу конструкции электрофизических приборов – светодальномеров и радиодальномеров [1].

Например, оптические дальномеры служат для определения расстояний величиной от 100 – 300 м с относительной погрешностью от 1/200 до 1/3000 в зависимости от конструкции прибора.

В настоящее время в геодезии наибольшее распространение получили электрофизические приборы, такие как светодальномеры, использующие поддиапазон видимых и инфракрасных длин волн, и радиодальномеры,

использующие поддиапазон радиоволн. Принцип их работы базируется на измерении времени прохождения световым радиоволновым сигналом с постоянной скоростью отрезка линии. Над одной из точек линии устанавливается дальномер, над второй – отражатель. Таким образом, электромагнитные волны, посланные передаточным устройством, отразившись от ретранслятора, возвращаются в начальную точку и поступают в приемное устройство дальномера. В современных светодальномерах в качестве источников света используют светодиоды и лазеры [19].

Принцип действия радиодальномеров практически тот же, что и светодальномеров. Радиодальномер состоит из двух взаимозаменяемых приемопередающих радиостанций, размещаемых в пунктах, между которыми определяется расстояние. Радиостанции снабжены устройствами для измерения времени прохождения радиосигналов от одного пункта до другого. В отличие от светодальномеров, на работу которых существенное влияние оказывают атмосферные условия, радиодальмеры позволяют вести измерения при любых метеорологических условиях (кроме сильного дождя) и в любое время суток. Радиодальмеры обладают большей (до 150 км.) дальностью действия, чем светодальмеры. Это объясняется меньшим затуханием радиоволн в атмосфере по сравнению со световыми. Недостатком радиодальномеров является большая постоянная часть погрешностей измерений (до 3-5 см.) и возможность получения ошибочных результатов вследствие отражения радиоволн от складок рельефа и местных предметов [2].

Свето- и радиодальмеры по сравнению с оптическими дальномерами обладают значительно более высокой точностью измерений и возможностью измерений больших расстояний. В характеристике светодальномера составляющая линейной погрешности исчисляется как 2мм/км, а дальность измерений ограничивается до 3,5 км. Радиодальмеры обладают большей (до 150 км.) дальностью действия, чем светодальмеры. Это объясняется меньшим затуханием радиоволн в атмосфере по сравнению со световыми.

В современных свето- и радиодальномерах управление, вычисление и контроль выполняются микропроцессором по заданной программе. Измерение расстояний такими приборами состоит в установке над пунктами светодальномера и отражателя, наведении дальномера на отражатель и нажатие кнопки «пуск». Измерения выполняются в течение нескольких секунд.

Измерения расстояний также сопровождаются погрешностями. Для того чтобы ослабить действие погрешностей, следует выбирать подходящие приборы в зависимости от климата и характера снимаемой местности, а также следить за качеством проводимых работ. К примеру, основными источниками погрешностей измерения длин мерной лентой являются: изгиб и провисание ленты, незнание истинной длины ленты, колебания температуры в процессе измерений и пр.

Вышеизложенные методы измерения углов и расстояний применяются для вычисления координат неизвестных точек при построении теодолитного хода.

Теодолитные ходы представляют собой системы ломаных линий, в которых горизонтальные углы измеряются техническими теодолитами, а длины сторон – стальными мерными лентами и рулетками, либо оптическими дальномерами. По точности теодолитные ходы подразделяются на ходы точности 1:3000, 1:2000 и 1:1000. Обычно теодолитные ходы не только нужны для выполнения съемки ситуации местности, но и служат геодезической основой для других видов инженерно-геодезических работ. Теодолитные ходы развиваются от пунктов плановых государственных геодезических сетей и сетей сгущения.

По форме различают следующие виды теодолитных ходов:

- разомкнутый ход, начало и конец которого опираются на пункты геодезического обоснования (рисунок 2а);
- замкнутый ход (полигон) – сомкнутый многоугольник, обычно примыкающий к пункту геодезического обоснования (рисунок 2б);

- висячий ход, один из концов которого примыкает к пункту геодезического обоснования, а второй конец остается свободным (рисунок 1в).

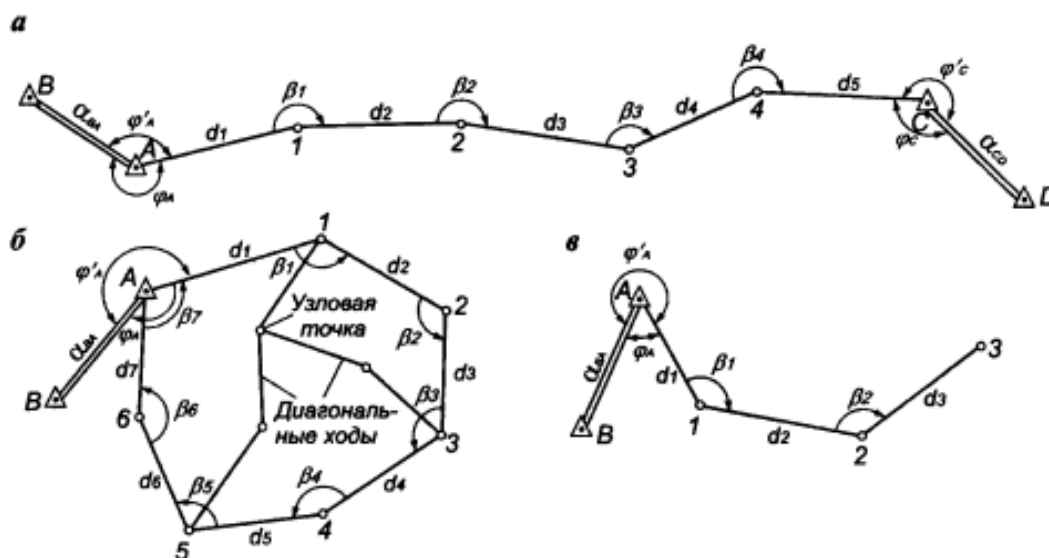


Рисунок 2 – Теодолитные ходы:

a – разомкнутый ход; *б* – замкнутый ход; *в* – висячий ход

Форма теодолитных ходов зависит от характера снимаемой территории. Так, для съемки полосы местности при трассировании осей линейных объектов (дорог, трубопроводов и т.п.) прокладывают разомкнутые ходы. При съемках населенных пунктов, строительных площадок обычно по границе участка прокладывают замкнутый ход. При необходимости внутри полигона прокладывают диагональные ходы, которые могут образовывать узловые точки. Проложение висячих теодолитных ходов допускается лишь в отдельных случаях при съемке неответственных объектов [2].

Теодолитная съемка складывается из подготовительных, полевых и камеральных работ. Наибольший объем приходится на полевые работы, которые включают в себя рекогносцировку снимаемого участка, прокладку теодолитных ходов и полигонов, их привязку к пунктам геодезической опорной сети и съемку ситуации.

Прокладка теодолитных ходов включает в себя производство угловых и линейных измерений. Горизонтальные углы измеряются техническими теодолитами одним полным приемом с точностью не ниже 3 секунд. Длины сторон измеряют компарированными стальными мерными лентами или

дальномерами, обеспечивающими установленную точность. Для контроля каждая сторона измеряется дважды. Расхождения между результатами двойных измерений длины каждой стороны не должны превышать установленных величин с учетом точности хода (1:3000 – 1:1000 длины стороны). Данные угловых и линейных измерений заносятся в полевые журналы установленной формы.

2.2 Методы обработки геодезических данных по результатам дистанционных измерений

Решения задач по определению координат точек опираются на решение классических задач прямой и обратной засечки. Суть этих задач составляют измерения, проведенные из нескольких точек с известными координатами, на точку с неизвестными координатами.

Засечки различают прямые, обратные и комбинированные. Различают прямые и обратные засечки следующих видов:

- линейные;
- угловые;
- комбинированные.

В данной работе рассмотрены измерения, опирающиеся на линейные засечки. Сущность линейной засечки состоит в определении положения точки P по координатам исходных пунктов (A , B и C) и расстояниям (d_1 , d_2 , d_3) от искомой точки до исходных пунктов (рисунок 3).

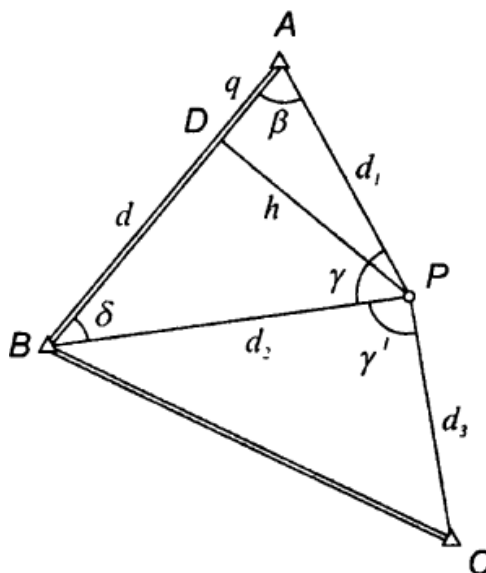


Рисунок 3 – Линейная геодезическая засечка

По нынешним технологиям решение таких задач сводится к решению серии тригонометрических. В данной работе такие способы решения не рассматриваются, так как они являются классическими и хорошо описаны в литературе по геодезии, в частности, такими авторами как Маркузе, Большаков, Борщ-Компаниец и др. [2, 3, 5].

Полученные дистанционные измерения обязательно содержат ошибки. Поэтому в традиционной схеме вычислений, вторым этапом является процедура уравнивания, которая заключается в том, чтобы, используя все измерения, получить однозначно все неизвестные, а также повысить точность искомых величин. Уравнивание выполняют по методу наименьших квадратов, согласно которому измеренные величины получают поправки v_i , удовлетворяющие условию

$$[pv^2] = \min,$$

где $[pv^2] = p_1v_1^2 + p_2v_2^2 + \dots + p_nv_n^2$;

p_i – вес i -го измерения;

v_i – вероятнейшая поправка i -го измерения;

$i = 1, 2, \dots, n$.

Выделяют несколько способов уравнивания. Так, для уравнивания геодезических построений используют параметрический и коррелятивный

способы. При коррелятном способе поправки отыскивают непосредственно к измеренным величинам, а при параметрическом – к их функциям [5]. Оба этих способа приводят к равноценным результатам.

3 Разработка методов вычисления координат определяемой точки по дистанционным измерениям

При всем многообразии задач, решаемых в геодезии и маркшейдерии, и уровней их сложности, «на дне» геодезической задачи, как правило, лежит задача определения координат неизвестной точки по результатам измерения расстояний и направлений на эту точку из точек с известными координатами. Существует большое количество предложенных методов решения данной задачи, различающихся трудоемкостью, сложностью и точностью полученного решения.

Применение вычислительной техники снижает вопрос трудоемкости и сложности решения. Что касается точности, то основным способом ее повышения при равной точности выполненных измерений является увеличение количества измерений, выполненных сверх минимально необходимых для получения решения [18]. Кроме того, представляется целесообразной разработка «универсальных подходов к решению возможно более широкого круга геодезических задач» [9].

В настоящей работе предложено два метода решения задачи определения координат неизвестной точки по результатам дистанционных измерений, выполненных на эту точку из произвольного множества точек с известными координатами. Решение строится из предположения, что координаты точек и расстояния заданы в декартовой системе координат, а дистанции проведения геодезических измерений составляют сотни метров, т.е. не учитывается искривление земной поверхности.

3.1 Геометрическая интерпретация задачи засечки для дистанционных измерений

Рассмотрим планарную задачу. Дистанция R_i , измеренная от некоторой точки X_i , определяет окружность C_i с центром в точке X_i и радиусом R_i . Но две окружности C_i и C_j пересекаются уже только в двух точках (рисунок 4). Непересекающиеся окружности и другие варианты в работе не

рассматриваются. Решение системы нелинейных уравнений и дополнительная информация позволяют определить координаты единственной точки X_Z .

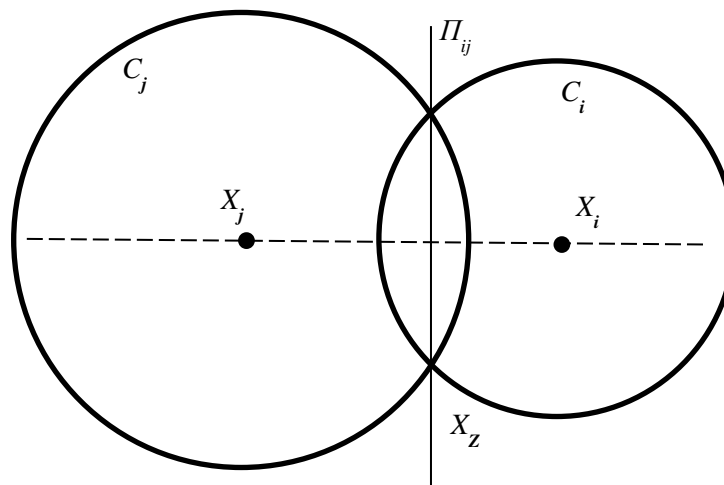


Рисунок 4 – Пересечение двух окружностей

Следует отметить то, что эти две точки лежат на прямой P_{ij} , и эта прямая P_{ij} перпендикулярна отрезку $(X_i - X_j)$. В качестве дополнительного условия может быть третья окружность C_k . В этом случае систему нелинейных уравнений удастся свести к системе линейных уравнений. Такой подход будет показан ниже.

В то же время пересечение трех таких окружностей порождает три прямых. Эти прямые пересекаются в той же определяемой точке. Параметры каждой прямой могут быть вычислены и записаны через неявные уравнения для каждой прямой. Тогда можно составить СЛАУ как пересечение этих трех прямых (рисунок 5).

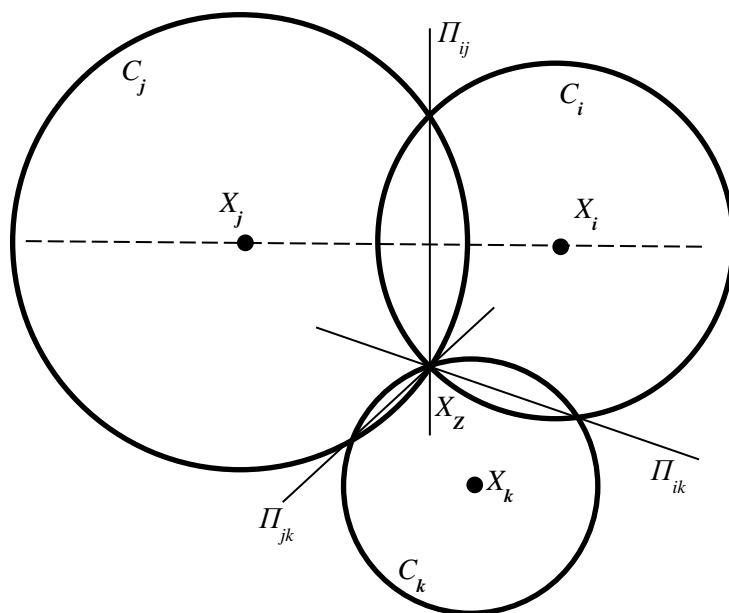


Рисунок 5 – Пересечение трех окружностей и трех порождаемых прямых

На рисунке 6 представлено трехмерное отображение пересечения сфер.

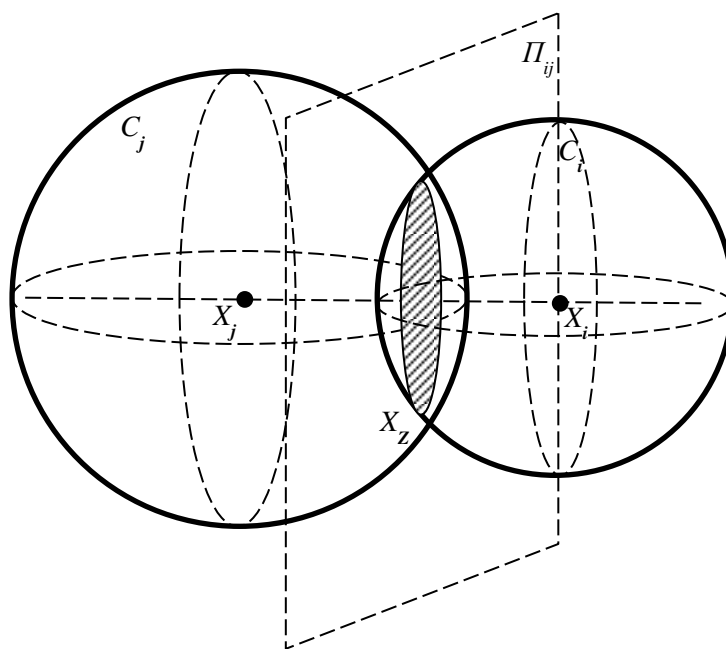


Рисунок 6 – Пересечение двух сфер в пространстве

В случае, когда измерения проводятся в пространстве получаем аналогичную ситуацию. Но размерность пространства возрастает и есть существенные различия. Точка X_i и измеренное расстояние R_i определяют сферу C_i радиуса R_i с центром в X_i . Две сферы C_i и C_j пересекаются по окружности, которая лежит в плоскости Π_{ik} . Третья сфера C_k пересекает эту

окружность и определяет две точки. А уже четвертая сфера позволяет выбрать одну точку из двух. То есть определяемая точка является решением системы из 4-х нелинейных уравнений.

Результирующую точку можно (точку пересечения) можно рассматривать и как результат других объектов – плоскостей. Каждая пара сфер порождает плоскость. Три сферы порождают три плоскости, но эти плоскости пересекаются по одной прямой. Центры этих сфер определяют плоскость, а прямая пересечения перпендикулярна этой плоскости. Четвертая сфера пересекает эту прямую в определяемой точке X_Z и определяет ее однозначно. Взаимное пересечение n сфер порождает C_n^2 – число сочетаний из n по 2. Четыре сферы порождают шесть плоскостей. Эти плоскости пересекаются в определяемой точке X_Z .

Как и в планарном случае, пространственную задачу пересечения четырех и более сфер тоже удастся свести к системе линейных уравнений. Вырожденные случаи взаимного расположения сфер в данной работе не рассматриваются.

Каждое измерение имеет погрешность. Избыточное количество измерений также позволяет снизить погрешность результата за счет построения единственного решения оптимального в некотором смысле, например исходя из метода наименьших квадратов.

Математически решение задачи засечки на измерениях дистанций ставится следующим образом: пусть для точек X_i , $i=1,2,\dots,N$, с известными координатами $X_i = (x_i, y_i, z_i)^T$, $i=1,2,\dots,N$, произведены дистанционные измерения R_i на точку X_Z с неизвестными координатами $X_Z = (x_Z, y_Z, z_Z)^T$. Требуется определить координаты неизвестной точки X_Z .

Для решения такой задачи в данной работе предлагается несколько вариантов.

3.2 Первый вариант решения задачи засечки на дистанционных измерениях

Идея решения заключается в построении квадратных уравнений расстояний между известными и неизвестными точками. Из этих уравнений строится СЛАУ путем получения разности между исходными уравнениями. Тогда удастся избавиться от квадратичной составляющей.

Обозначим значения дистанций (скаляры) как R_1, R_2, \dots, R_N . Пусть они заданы в декартовой системе координат. Тогда можно записать несколько равенств вида (1)

$$\begin{aligned}(X_Z - X_1)^T (X_Z - X_1) &= R_1^2, \\(X_Z - X_2)^T (X_Z - X_2) &= R_2^2, \\&\dots \\(X_Z - X_N)^T (X_Z - X_N) &= R_N^2.\end{aligned}\tag{1}$$

Найдем попарную разницу между такими уравнениями. Для пары i и j получим следующее соотношение:

$$(X_Z - X_i)^T (X_Z - X_i) - (X_Z - X_j)^T (X_Z - X_j) = R_i^2 - R_j^2,$$

Раскрывая скобки и упрощая, получаем

$$-2X_Z^T X_i + X_i^T X_i + 2X_Z^T X_j - X_j^T X_j = R_i^2 - R_j^2.$$

Перенесем известные величины в правую часть:

$$-2X_Z^T X_i + 2X_Z^T X_j = R_i^2 - R_j^2 - X_i^T X_i + X_j^T X_j,$$

или

$$2X_Z^T (X_j - X_i) = R_i^2 - R_j^2 - X_i^T X_i + X_j^T X_j.\tag{2}$$

Обозначим правую часть как некую константу B_{ij} :

$$B_{ij} = R_i^2 - R_j^2 - X_i^T X_i + X_j^T X_j.$$

Тогда уравнение (2) можно переписать в следующем виде (с учетом перестановки сомножителей и перестановки транспонирования):

$$(X_j - X_i)^T X_Z = \frac{1}{2} B_{ij}.$$

Эти отдельные уравнения составляют систему из $N = C_N^k = \frac{N!}{k!(N-k)!}$

уравнений. В координатной форме эти уравнения разворачиваются в следующую систему:

$$\aleph = \begin{cases} (x_2 - x_1) \cdot x_Z + (y_2 - y_1) \cdot y_Z + (z_2 - z_1) \cdot z_Z = \\ \quad = 0.5 \cdot (R_1^2 - R_2^2 - x_1^2 - y_1^2 - z_1^2 + x_2^2 + y_2^2 + z_2^2) \\ (x_3 - x_1) \cdot x_Z + (y_3 - y_1) \cdot y_Z + (z_3 - z_1) \cdot z_Z = \\ \quad = 0.5 \cdot (R_1^2 - R_3^2 - x_1^2 - y_1^2 - z_1^2 + x_3^2 + y_3^2 + z_3^2) \\ \quad \vdots \\ (x_N - x_{N-1}) \cdot x_Z + (y_N - y_{N-1}) \cdot y_Z + (z_N - z_{N-1}) \cdot z_Z = \\ \quad = 0.5 \cdot (R_1^2 - R_N^2 - x_{N-1}^2 - y_{N-1}^2 - z_{N-1}^2 + x_N^2 + y_N^2 + z_N^2) \end{cases} \quad (4)$$

В векторной форме такую систему из N уравнений можно записать как

$$\aleph X_Z = \aleph, \quad (5)$$

где матрица системы \aleph имеет вид

$$\aleph = \begin{pmatrix} (X_2 - X_1)^T \\ (X_3 - X_1)^T \\ \vdots \\ (X_n - X_{n-1})^T \end{pmatrix},$$

а вектор правой части \aleph представлен в виде

$$\aleph = \begin{pmatrix} 1/2 B_{1,2} \\ 1/2 B_{1,3} \\ \vdots \\ 1/2 B_{n-1,n} \end{pmatrix}.$$

Здесь, согласно (2), $B_{ij} = R_i^2 - R_j^2 + X_j^T X_j - X_i^T X_i$. Подлежащий определению вектор координат неизвестной точки X_Z является решением этой системы.

Если ранг матрицы \aleph равен k , где $k = 2, 3$ – размерность пространства оценок ($k = 2$ – для планарной задачи, $k = 3$ для объемной), то решая систему (5)

) каким-либо известным методом, получим оценку искомого вектора X_Z [17].

3.3 Второй вариант решения задачи засечки на дистанционных измерениях

Идея решения заключается в построении СЛАУ из плоскостей, в которых лежат окружности пересечения сфер.

Обозначим значения дистанций (скаляры) как R_1, R_2, \dots, R_N . Пусть они заданы в декартовой системе координат.

Три сферы (а при точном задании R_i и все сферы) пересекаются в искомой точке X_Z . Тогда можно записать уравнение этой плоскости. Так как эта плоскость перпендикулярна вектору $(X_j - X_i)$, соединяющему центры сфер, т.е. известные точки X_i, X_j , то в неявном виде ее уравнение можно записать, как

$$(X_j - X_i)^T (X_Z - Z_{i,j}) = 0,$$

где $Z_{i,j}$ – некая известная точка, которая тоже лежит в этой плоскости.

Разделяя известные величины и неизвестные, получаем уравнение вида

$$(X_j - X_i)^T X_Z = (X_j - X_i)^T Z_{i,j}.$$

Остается определить, какая известная точка лежит в этой плоскости. Эта плоскость пересекает вектор $(X_j - X_i)$, и известная точка является точкой пересечения искомой плоскости и вектора $(X_j - X_i)$.

Зафиксируем некую точку $T_{i,j}$ на окружности пересечения сфер. Тогда точки $X_i, X_j, T_{i,j}$ образуют треугольник с длинами сторон $|X_j - X_i|, R_i, R_j$. Из вершины $T_{i,j}$ на прямую, определяемую двумя точками X_i, X_j , можно опустить высоту $h_{i,j}$. Эта высота треугольника будет равна $h_{i,j} = \frac{2S_{i,j}}{|X_j - X_i|}$, где

$S_{i,j}$ – площадь этого треугольника, вычисляемая, например, по формуле Герона

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}. \quad (6)$$

Для рассматриваемого случая формулу (6) можно представить в виде

$$S_{i,j} = \sqrt{p_{i,j}(p_{i,j} - |X_j - X_i|)(p_{i,j} - R_i)(p_{i,j} - R_j)},$$

где полупериметр $p_{i,j} = \frac{|X_j - X_i| + R_i + R_j}{2}$. Тогда на прямой, определяемой точками X_i, X_j , удастся рассчитать точку $Z_{i,j}$, куда опускается высота $h_{i,j}$ из $T_{i,j}$:

$$Z_{i,j} = X_i + \text{sign} \cdot \sqrt{R_i^2 - h_{i,j}^2} \cdot \frac{(X_j - X_i)}{|X_j - X_i|}. \quad (7)$$

В формуле (7) переменная sign определяет, в каком направлении откладывать вектор. Этот знак определяется из следующего анализа

- Если $|X_j - X_i|^2 + R_i^2 > R_j^2$, то $\text{sign} = +$, т.е. точка $Z_{i,j}$ лежит между точками X_i, X_j или за точкой X_j (по отношению к X_i).
- Если $|X_j - X_i|^2 + R_i^2 < R_j^2$, то $\text{sign} = -$, т.е. точка $Z_{i,j}$ лежит за точкой X_i (по отношению к X_j).
- Если $|X_j - X_i|^2 + R_i^2 = R_j^2$, то это прямоугольный треугольник, высота которого совпадает с катетом $h_{i,j} = (T_{i,j}, X_i)$; $Z_{i,j}$ совпадает с X_i . Здесь $\sqrt{R_i^2 - h_{i,j}^2} = 0$.

Поскольку каждый треугольник образован двумя неизвестными и одной известной точками, для четырех и более известных точек X_i , не лежащих в одной плоскости, можно составить систему из $\square = C_N^2 = \frac{N!}{2!(N-2)!}$ линейных уравнений, или систему вида

$$\left\{ \begin{array}{l} (X_2 - X_1)^T X_Z = (X_2 - X_1)^T Z_{1,2} \\ \vdots \\ (X_N - X_1)^T X_Z = (X_N - X_1)^T Z_{1,N} \\ \vdots \\ (X_j - X_i)^T X_Z = (X_j - X_i)^T Z_{i,j} \\ \vdots \\ (X_N - X_{N-1})^T X_Z = (X_N - X_{N-1})^T Z_{N-1,N} \end{array} \right. \quad (8)$$

Каждое из уравнений, например, первое, в покоординатной форме разворачивается в уравнение вида

$$\begin{aligned} & (x_2 - x_1) \cdot x_z + (y_2 - y_1) \cdot y_z + (z_2 - z_1) \cdot z_z = \\ & = (x_2 - x_1) \cdot x_{z1,2} + (y_2 - y_1) \cdot y_{z1,2} + (z_2 - z_1) \cdot z_{z1,2}, \end{aligned}$$

где $x_{z1,2}, y_{z1,2}, z_{z1,2}$ – компоненты вектора $Z_{1,2}$, которые вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} x_{z1,2} &= x_1 \pm \sqrt{R_1^2 - h_{1,2}^2} \cdot \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}, \\ y_{z1,2} &= y_1 \pm \sqrt{R_1^2 - h_{1,2}^2} \cdot \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}, \\ z_{z1,2} &= z_1 \pm \sqrt{R_1^2 - h_{1,2}^2} \cdot \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}, \end{aligned}$$

где $h_{1,2}$, в свою очередь, вычисляется как

$$h_{1,2} = \frac{2\sqrt{p_{1,2}\left(p_{1,2} - \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}\right)(p_{1,2} - R_1)(p_{1,2} - R_2)}}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}},$$

а $p_{1,2}$ здесь вычисляется как

$$p_{1,2} = 0.5\left(\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} + R_1 + R_2\right).$$

Поскольку точка X_z принадлежит этой плоскости, то, обозначив ведущий вектор плоскости P_{ij} , уравнение плоскости можно записать в виде

$$P_{ij}X_z = b,$$

а поскольку точка Z_{ij} также принадлежит указанной плоскости, то $b = P_{ij}Z_{ij}$.

Неизвестная точка X_z принадлежит пересечению этих плоскостей, то есть является решением системы вида (5), где

$$\aleph = \begin{pmatrix} P_{1,2} \\ P_{1,3} \\ \vdots \\ P_{1,n} \\ P_{2,3} \\ \vdots \\ P_{2,n} \\ \vdots \\ P_{n-1,n} \end{pmatrix}, \aleph = \begin{pmatrix} P_{1,2}Z_{1,2} \\ P_{1,3}Z_{1,3} \\ \vdots \\ P_{1,n}Z_{1,n} \\ P_{2,3}Z_{2,3} \\ \vdots \\ P_{2,n}Z_{2,n} \\ \vdots \\ P_{n-1,n}Z_{n-1,n} \end{pmatrix}.$$

Таким образом, показано, что поставленная задача может быть несколькими способами приведена к системе линейных уравнений. Если получаемая при этом матрица системы имеет полный столбцовый ранг (все ее столбцы линейно независимы), то координаты неизвестной точки могут быть получены в результате решения этой системы [1, 4].

3.4 Решение задачи засечки с учетом смещения прибора измерения

Предложенные методы решения поставленной задачи предполагают условия, когда измерение проводится от реперной точки на неизвестную. В действительности же иногда измерения проводятся из некоторой точки в пространстве, которая смещена от реперной, и прием также производится на некоторую точку, смещенную от искомой точки. И эти смещения различны. Их можно перевести в пространственные векторы.

Обозначим векторы смещения от реперной точки, где стоит прибор, как Ω_i – смещение от известных точек, или Ω_Z – смещение от неизвестной. Смещение точки приема обозначим, как Θ_i или Θ_Z , соответственно. Положим, что измерения проводились из известных точек X_i на неизвестную X_Z . Тогда, например, для второго варианта исходная система (8) будет переписана в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} (X_2 + \Omega_2 - X_1 - \Omega_1)^T (X_Z + \Theta_Z) = (X_2 + \Omega_2 - X_1 - \Omega_1)^T Z_{1,2} \\ \vdots \\ (X_N + \Omega_N - X_1 - \Omega_1)^T (X_Z + \Theta_Z) = (X_N + \Omega_N - X_1 - \Omega_1)^T Z_{1,N} \\ \vdots \\ (X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i)^T (X_Z + \Theta_Z) = (X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i)^T Z_{i,j} \\ \vdots \\ (X_N + \Omega_N - X_{N-1} - \Omega_{N-1})^T (X_Z + \Theta_Z) = (X_N + \Omega_N - X_{N-1} - \Omega_{N-1})^T Z_{N,N-1} \end{array} \right. .$$

Раскрывая скобки в левой части и перенося известные величины вправо, получаем систему вида

$$\left\{ \begin{array}{l} (X_2 + \Omega_2 - X_1 - \Omega_1)^T X_Z = (X_2 + \Omega_2 - X_1 - \Omega_1)^T (Z_{1,2} - \Theta_Z) \\ \vdots \\ (X_N + \Omega_N - X_1 - \Omega_1)^T X_Z = (X_N + \Omega_N - X_1 - \Omega_1)^T (Z_{1,N} - \Theta_Z) \\ \vdots \\ (X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i)^T X_Z = (X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i)^T (Z_{i,j} - \Theta_Z) \\ \vdots \\ (X_N + \Omega_N - X_{N-1} - \Omega_{N-1})^T X_Z = (X_N + \Omega_N - X_{N-1} - \Omega_{N-1})^T (Z_{N-1,N} - \Theta_Z) \end{array} \right. .$$

Необходимо учесть, что искомая точка здесь вычисляется с учетом того, что измерение проводится из некой пространственной точки, смещенной относительно реперной, т.е.

$$Z_{i,j} = X_i + \Omega_i + \text{sign} \cdot \sqrt{R_i^2 - h_{i,j}^2} \cdot \frac{(X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i)}{|X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i|}.$$

Периметр треугольника, построенного на точках $X_i, X_j, T_{i,j}$ рассчитывается с учетом этого же факта. Таким образом, стороны треугольника имеют длины $|X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i|, R_i, R_j$, а полупериметр рассчитывается как

$$p_{i,j} = \frac{|X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i| + R_i + R_j}{2}.$$

Тогда площадь треугольника можно вычислить следующим образом:

$$S_{i,j} = \sqrt{p_{i,j} (p_{i,j} - |X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i|) (p_{i,j} - R_i) (p_{i,j} - R_j)}.$$

Высота треугольника вычисляется как

$$h_{i,j} = \frac{2S_{i,j}}{|X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i|}.$$

Аналогичным образом можно переписать систему и для первого варианта. Так, систему (4) в общем виде с учетом смещения можно представить в виде

$$(X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i)^T (X_z + \Theta_z) = \frac{1}{2} B_{i,j},$$

где вектор правых частей переписывается как

$$B_{i,j} = R_i^2 - R_j^2 - (X_i + \Omega_i)^T (X_i + \Omega_i) + (X_i + \Omega_i)^T (X_j + \Theta_j).$$

Соответственно, матрица \aleph системы (5) будет иметь следующий вид:

$$\aleph = \begin{pmatrix} (X_2 + \Omega_2 - X_1 - \Omega_1)^T \\ (X_3 + \Omega_3 - X_1 - \Omega_1)^T \\ \vdots \\ (X_N + \Omega_N - X_{N-1} - \Omega_{N-1})^T \end{pmatrix}.$$

Аналогично задачу геодезической засечки можно решать и для планарного случая. Для этого можно написать подобные системы линейных уравнений с учетом, что вертикальная координата отсутствует $z = 0$.

3.5 Обусловленность матриц коэффициентов

Многие задачи математики сводятся к решению СЛАУ. При численном решении задач исследователи часто сталкиваются с таким понятием как число обусловленности. Число обусловленности является важнейшим «индикатором» для определения устойчивости решения той или иной задачи. Обусловленность оценивает близость матрицы коэффициентов A к вырожденной. Число обусловленности $cond(A)$ является количественной оценкой обусловленности. Отметим, что всегда $cond(A) \geq 1$. Если $cond(A) \geq 10^3$, то говорят, что матрица A плохо обусловлена. Если $1 \leq cond(A) \leq 100$, то матрица считается хорошо обусловленной.

Система уравнений считается хорошо обусловленной, если малые изменения в коэффициентах матрицы или в правой части вызывают малые изменения в решении.

Система уравнений считается плохо обусловленной, если малые изменения в коэффициентах матрицы или в правой части вызывают большие изменения в решении.

Число $cond(A) = \|A\| \cdot \|A^{-1}\|$ называется числом обусловленности матрицы.

Число обусловленности напрямую связано с понятием нормы матрицы. В настоящей работе для оценки числа обусловленности использовалась евклидова норма

$$\|A\|_F = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2}.$$

Также в работе рассмотрен еще один способ оценки числа обусловленности с помощью сингулярного разложения матрицы (SVD). При таком разложении произвольную матрицу A размера $n \times k, n \geq k$ можно представить в виде

$$A = USV^T,$$

где U – ортогональная матрица размера $n \times n$, V – ортогональная матрица размера $k \times k$, а матрица S размера $n \times k$ имеет диагональную форму, на главной диагонали которой находятся числа $\sigma_i > 0, i = 1, 2, \dots, r, r \leq k$ – сингулярные числа матрицы A . Отсюда можно получить оценку числа обусловленности как отношение максимального сингулярного числа к минимальному:

$$cond(A) = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}}.$$

Существуют и другие оценки обусловленности матриц. Значения числа обусловленности получаются различными. Но независимо от способа вычисления этого числа, все методики дают малые значения для хорошо обусловленной матрицы и большие для плохо обусловленной.

4 Проведение исследований линейных систем для решения задач геодезии

Предлагаемая методика, по сути, является инструментом для решения задач геодезии. Помимо разработки инструмента необходимо исследовать его свойства, чтобы показать как его сильные стороны, так и слабые. Для вычислительных технологий важным аспектом является погрешность результатов вычислений при наличии погрешностей в исходных данных. В случае линейных систем уравнений погрешность решения зависит и от обусловленности матрицы коэффициентов.

Поэтому необходимо по результатам проанализировать, при каких условиях вычисления будут производиться с малой погрешностью, а при каких с большой. Здесь конкретной математической задачей является изучение зависимости обусловленности матрицы коэффициентов от условий проведения измерений.

Матрица коэффициентов зависит от координат известных геодезических пунктов, а точнее, от их взаимного положения. Отсюда вытекает задача: найти зависимость обусловленности матрицы от взаимного положения опорных пунктов.

Для выявления свойств матрицы предлагается проанализировать обусловленность матрицы для разных конфигураций геодезических измерений. Но проведение анализа на реальных данных невозможно из-за большой трудоемкости сбора таких данных. Но для такой задачи можно произвести вычислительные эксперименты и смоделировать результаты измерений.

Для выполнения серии экспериментов следует их предварительно спланировать:

- определить цели и задачи экспериментов;
- спланировать методику проведения экспериментов;

- спроектировать и реализовать необходимые инструменты и информационные потоки: выбрать среду разработки, разработать структуру программ, определить форматы необходимых файлов;
- собственно провести эксперименты, зафиксировать и проанализировать результаты.

Целью эксперимента, как уже указывалось, является исследование влияния конфигурации опорных геодезических точек и их положения относительно определяемой точки на число обусловленности формируемой матрицы.

В настоящей работе предложено рассмотреть такие виды конфигураций известных точек:

- опорные точки равномерно распределены в промежутке между сферами радиусами r и R с центром в одной точке;
- опорные точки сосредоточены в небольшой области, удаленной от определяемой точки.
- когда проводились кратные измерения от опорных точек.

Для реализации большого числа численных экспериментов разработан набор программ в стандартных математических пакетах.

4.1 Разработка программ для решения задач геодезии и исследования свойств систем уравнений

Для выполнения полного цикла вычислений по формированию матрицы коэффициентов и векторов свободных членов были разработаны документы в математическом пакете Mathcad (приложение Б, рисунки Б.1 и Б.2). Mathcad – это приложение для математических и инженерных вычислений, промышленный стандарт проведения, распространения и хранения расчетов. Документы Mathcad представляют расчеты в виде, очень близком к стандартному математическому языку, что упрощает постановку и решение задач. Вычислительные средства Mathcad обеспечивают расчеты по сложным математическим формулам, включая численные методы и аналитические преобразования. Пакет имеет большой набор встроенных математических

функций, что очень важно при написании данной работы. Например, для вычисления псевдообратных матриц и решения СЛАУ можно использовать встроенная функция *svd2*, которая выполняет сингулярное разложение матриц.

Разработанные документы оказались удобны только для одиночных расчетов, в то время как проведение серии экспериментов и сбор статистики потребовали бы больших затрат ручного труда. Поэтому на основе сформированных файлов были разработаны программы, позволяющие обрабатывать многократные измерения. Для организации работ по исследованию обусловленности матрицы на большом количестве данных с помощью математического пакета MATLAB были сформированы две программы, имитирующие проведение серии измерений. Пакет MATLAB имеет встроенный язык программирования, подобный C++ и обладает операторами вывода, что позволяет формировать текстовые файлы достаточно сложной структуры.

Для проведения расчетов на больших массивах данных написана программа в пакете Mathcad. Программа имеет следующую структуру:

- считывание файла конфигураций, файла измерения дистанций;
- выполнение процедуры, которая в цикле перебирает все строки загруженных файлов и формирует матрицу коэффициентов для данных конфигураций синтезированных измерений и вектор свободных коэффициентов;
- выполнение оценки обусловленности с помощью сингулярного разложения матрицы.

Фрагменты документа, с помощью которого выполнялась оценка обусловленности матрицы, представлены в приложении Б (рисунок Б.3).

4.4.1 Описание программ, имитирующих серии измерений

Как уже упоминалось ранее, одна из программ, написанных в среде MATLAB, генерирует координаты известных точек, а вторая на основе этих координат вычисляет расстояния между этими точками и неизвестной. Рассмотрим каждую из них более подробно.

Для простоты расчетов точка, координаты которой необходимо измерить, находится в начале координат $X_{accu} = (0,0,0)$ и является центром сфер с радиусами r и R .

Для реализации программы, генерирующей конфигурации известных точек, с помощью датчика случайных чисел в сферических координатах были сформированы N точек с радиусом $\rho \in [r, R]$, широтой $\xi \in [\xi_1, \xi_2]$ и долготой $\varphi \in [\varphi_1, \varphi_2]$, где интервалы, в которых могут находиться точки, зависят от выбранной конфигурации. Так, для равномерного распределения точек следует принять $\xi_1 = -\frac{\pi}{2}, \xi_2 = \frac{\pi}{2}$ и $\varphi_1 = 0, \varphi_2 = 2\pi$. Для формирования сконцентрированной области эти интервалы следует уменьшить, к примеру, до следующих: $\xi_1 = -\frac{\pi}{6}, \xi_2 = \frac{\pi}{6}, \varphi_1 = -\frac{\pi}{6}, \varphi_2 = \frac{\pi}{6}$. Также для имитации измерений с одной кратной точкой генерируется $N+K-1$ точек, где K – количество кратности последней точки. Затем с помощью команды *sph2cart* полученные сферические координаты переведены в декартовы. Графическое отображение полученных результатов представлено на рисунках 7-8.

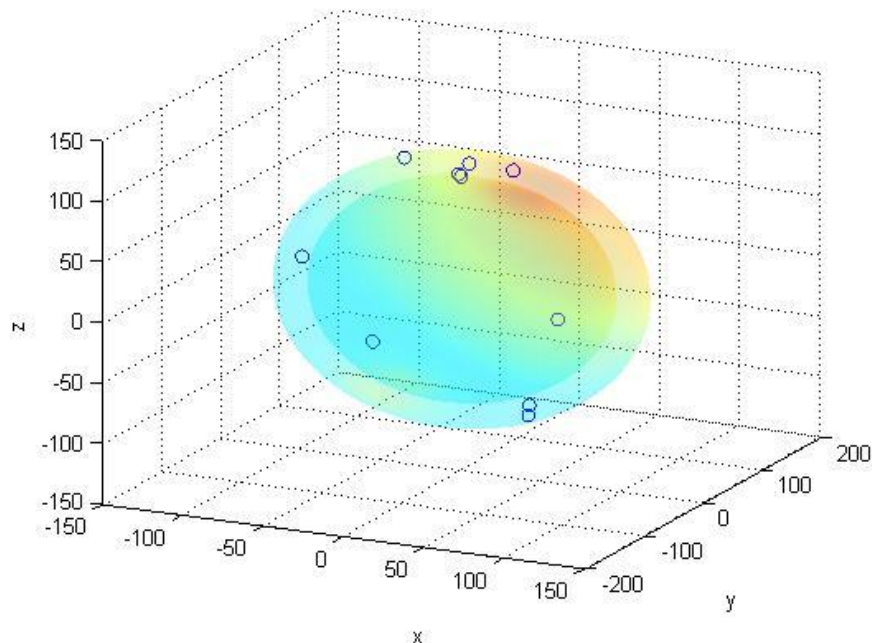


Рисунок 7 – Графическое отображение равномерно сгенерированных точек для $r = 90, R = 100$ м., $N = 10$

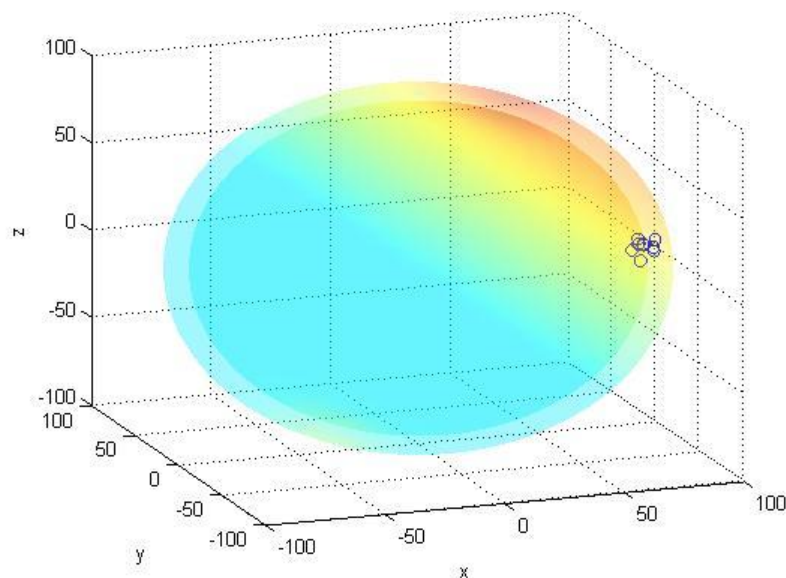


Рисунок 8 – Графическое отображение равновероятно сгенерированных точек в сконцентрированной области для $r = 90$, $R = 100$ м., $N = 10$

На выходе программы формируется текстовый файл согласно структуре, описанной в разделе 4.3 (таблица 1). Примеры выходных файлов, сформированных для измерений на разных конфигурациях (рисунок 9) и для измерений с одной кратной точкой (рисунок 10).

points 003 — Блокнот

Файл	Правка	Формат	Вид	Справка								
40	10											
93.397	-3.401	-0.011	92.120	7.471	1.660	97.141	-8.219	-3.646	98.730	-4.793	0.683	93.311
94.325	3.631	2.299	95.134	6.909	-2.812	98.629	3.925	-2.950	99.587	-0.040	-6.119	95.853
94.239	-7.958	-0.747	94.005	3.923	-4.507	94.951	-7.394	7.267	97.783	-4.385	2.099	90.446
97.209	-6.920	-6.492	92.059	-2.691	-7.551	90.303	3.051	-0.302	99.178	-5.703	-6.005	95.006
99.520	-3.646	-3.883	94.380	3.062	-5.847	97.223	-3.246	3.722	90.507	7.007	4.045	91.888
94.967	4.048	3.578	92.452	-2.635	0.573	93.365	4.915	-6.954	95.560	-5.562	-5.798	99.877
94.247	1.744	-3.949	98.240	6.135	8.530	94.660	-5.675	5.592	95.544	-2.946	4.175	90.779
91.441	-7.989	-2.768	98.506	0.800	-0.437	92.871	1.042	3.943	90.012	-6.846	2.692	93.426
91.783	6.874	7.808	93.035	6.390	-4.754	99.532	1.715	-4.351	91.435	-0.054	-0.220	90.829
89.959	-1.847	-4.657	91.821	-4.536	0.486	93.417	5.634	6.991	94.003	-7.039	-4.776	98.549
98.530	-7.889	-3.559	94.469	-5.653	6.174	91.920	-2.225	5.197	92.554	-7.140	8.102	98.791
93.991	-4.374	-7.229	90.548	-4.433	-6.486	97.532	-4.101	5.211	97.321	1.687	0.798	91.182
94.259	-2.798	-6.717	98.099	-6.962	2.941	93.460	5.418	7.284	98.852	-1.265	2.698	98.016
98.919	4.340	-1.059	91.918	-1.920	1.591	98.679	-4.028	6.525	97.911	-4.059	-6.579	96.307
98.859	7.999	7.761	90.245	-6.507	-4.380	89.876	-3.835	-7.118	91.734	-1.399	-7.910	92.773
90.388	-5.371	-7.752	93.411	-1.276	-3.723	91.253	0.935	2.563	92.860	-3.232	-4.857	99.326
90.184	6.836	-4.249	97.291	-5.019	3.551	90.494	-7.273	-1.482	92.643	0.686	7.210	93.786
96.742	-4.699	1.954	90.990	-4.419	-5.879	99.241	-0.917	5.814	90.336	-3.001	-0.840	96.643
90.832	-5.621	7.798	91.150	3.471	3.549	94.354	-3.501	5.418	92.854	1.670	-2.180	96.523
93.421	-1.287	-7.381	94.460	7.515	4.902	92.479	-5.017	7.629	95.961	-3.797	4.053	98.126
97.465	-2.346	-7.499	90.473	0.659	-6.592	96.455	-5.345	1.447	94.006	-2.601	-7.601	93.541
89.463	6.807	-7.639	97.666	5.839	-3.764	94.841	4.635	5.938	92.139	0.122	-5.618	97.022
94.761	-4.926	-8.077	95.374	4.264	3.348	91.192	7.086	5.582	91.304	5.752	-1.268	90.457
95.572	-6.340	-8.265	96.337	5.510	-2.782	91.953	3.955	4.333	95.545	1.448	2.437	99.506
99.706	-2.883	-5.329	97.531	6.039	8.229	89.884	-7.626	6.350	95.315	-4.021	2.128	92.554
94.798	-7.977	8.097	99.456	-7.177	0.027	91.195	-1.367	-7.182	98.450	-0.996	-6.704	94.706

Рисунок 9 – Структура выходного файла первой программы с измерениями на разных конфигурациях

40	10	10								
-6.731	-86.892	32.068	-10.766	-28.036	-102.076		84.014	39.763	-10.765	-17.404
-22.362	-69.970	64.667	45.576	37.871	-75.038	93.694	-16.913	-50.493	-2.089	3.475
65.352	52.787	-54.429	78.300	18.541	71.091	-2.990	-2.331	-104.902		-5.201
92.923	-25.035	-45.184	-55.521	49.391	-55.626	-10.128	-8.958	-101.194		82.817
92.074	2.295	4.045	35.438	35.053	96.116	9.538	-3.106	-90.254	9.124	41.653
-44.595	67.060	-71.660	13.648	23.444	-87.049	7.838	-39.325	-85.074	-59.166	-19.191
32.665	-34.452	-97.498	60.737	-30.736	-77.449	-43.978	-31.850	87.139	90.336	-3.248
-24.567	-50.948	-85.022	-97.363	18.109	-22.435	33.001	56.347	87.561	-54.346	41.462
-56.320	-34.083	73.758	23.383	-53.202	-80.062	81.962	61.187	-39.305	91.124	-34.511
4.350	-12.419	-104.131		38.699	-6.522	-81.824	30.820	-73.104	69.735	27.824
-9.606	28.531	-92.003	7.586	9.202	90.108	24.147	17.227	-93.575	2.146	-6.096
6.613	7.508	-101.024		-18.731	23.376	-94.278	-36.222	76.198	65.696	27.743
7.407	9.083	101.068	24.536	12.139	103.877	-2.240	-80.744	-66.629	-51.498	-60.215
-51.151	-40.677	-77.494	-32.844	103.196	1.500	23.197	83.446	-46.561	-32.960	-40.987
-70.035	22.991	-56.654	90.948	10.776	-2.211	45.414	-56.390	74.978	27.477	-10.329
-12.162	62.710	-88.674	31.658	60.225	-74.283	-7.300	-61.651	88.070	-41.293	29.803
-3.028	-92.654	41.893	-96.043	20.504	6.317	12.740	105.840	3.522	-6.522	1.348
15.213	79.712	-72.812	6.665	97.532	-17.901	-70.453	1.766	-76.679	-81.460	15.129
-22.753	-98.956	-5.770	-27.759	-83.840	-50.021	14.696	-89.092	26.589	17.681	-62.258
-38.280	67.078	-49.568	106.164	-14.982	2.283	-86.771	-33.311	8.504	-4.095	10.842
-21.996	17.649	90.519	-24.785	101.306	-23.312	41.774	-15.155	86.781	-35.112	-81.280
10.412	-82.301	-70.549	84.708	12.476	-52.045	-9.147	-77.284	-76.425	-53.430	81.599
-83.469	7.733	-38.376	-4.900	9.988	-99.278	-28.369	87.070	58.208	-63.686	45.400
58.043	40.950	-56.065	72.042	-53.763	34.356	-27.357	39.788	97.815	55.533	-34.497

Рисунок 10 – Структура выходного файла первой программы с измерениями на разных конфигурациях с последней кратной точкой

Программный код реализации представленных выше способов генерации точек представлен в приложении В (для формирования равновероятного распределения точек файл-функция «*points.m*» и файл-сценарий «*GeneratePoints.m*»); для равновероятного распределения точек в сконцентрированной области файл-функция «*points_cone.m*» и файл-сценарий «*GeneratePoints_cone.m*»; для измерений с последней кратной точкой файл-функция «*points_K.m*» и файл-сценарий «*GeneratePoints_K.m*»).

Вторая программа позволяет рассчитать расстояния от сгенерированных ранее точек до неизвестной на основе информации, содержащейся в файле, сформированном в первой программе. С помощью формулы, вычисляющей длину вектора, находится расстояние от известной точки до неизвестной. Затем к полученной величине добавляется погрешность, которая задается датчиком случайной величины, таким образом удастся симитировать геодезические измерения прибором для определения расстояний. За максимальную величину погрешности была взята погрешность оптического дальномера $eps = 0.005$ м.

На выходе программы формируется текстовый файл согласно структуре, описанной в разделе 4.3 (таблица 2). Результат работы программы представлен на рисунке 11.

distances_K_001 — Блокнот

Файл	Правка	Формат	Вид	Справка
40	10			
106.295	0.005	108.116	0.005	92.544 0.005
104.122	0.005	90.639	0.005	95.537 0.005
105.024	0.005	95.098	0.005	100.117 0.005
91.521	0.005	91.078	0.005	100.612 0.005
92.131	0.005	109.233	0.005	90.089 0.005
98.344	0.005	90.993	0.005	108.059 0.005
100.941	0.005	95.928	0.005	104.892 0.005
94.150	0.005	96.026	0.005	99.416 0.005
91.715	0.005	95.250	0.005	106.023 0.005
92.139	0.005	103.079	0.005	99.882 0.005
91.191	0.005	103.641	0.005	90.853 0.005
95.838	0.005	98.633	0.005	90.307 0.005
90.651	0.005	101.221	0.005	107.641 0.005
108.124	0.005	107.595	0.005	106.353 0.005
105.577	0.005	98.467	0.005	91.816 0.005
108.316	0.005	90.026	0.005	99.247 0.005
102.952	0.005	103.582	0.005	102.721 0.005
100.893	0.005	102.944	0.005	100.873 0.005
96.959	0.005	93.000	0.005	101.722 0.005
105.811	0.005	108.985	0.005	96.552 0.005
107.014	0.005	101.212	0.005	108.595 0.005
105.383	0.005	101.627	0.005	108.566 0.005
92.478	0.005	99.807	0.005	107.059 0.005
92.675	0.005	90.617	0.005	108.784 0.005
93.564	0.005	97.193	0.005	91.131 0.005
108.266	0.005	102.647	0.005	91.955 0.005
90.924	0.005	91.946	0.005	106.464 0.005
103.979	0.005	107.816	0.005	109.182 0.005
105.581	0.005	108.682	0.005	92.601 0.005
105.500	0.005	106.349	0.005	107.378 0.005
108.898	0.005	99.820	0.005	99.784 0.005
93.775	0.005	103.735	0.005	93.669 0.005
94.614	0.005	106.891	0.005	93.893 0.005
90.585	0.005	108.572	0.005	104.606 0.005
105.582	0.005	104.305	0.005	108.079 0.005
91.432	0.005	100.433	0.005	91.938 0.005
109.684	0.005	93.347	0.005	92.128 0.005
103.386	0.005	93.813	0.005	97.376 0.005
95.218	0.005	101.890	0.005	90.449 0.005
95.332	0.005	93.077	0.005	95.622 0.005
98.484	0.005	99.216	0.005	105.402 0.005
108.905	0.005	94.178	0.005	104.189 0.005
104.421	0.005	100.446	0.005	109.871 0.005
95.241	0.005	90.889	0.005	105.099 0.005
103.428	0.005	98.776	0.005	106.675 0.005
103.933	0.005	101.653	0.005	106.307 0.005
101.602	0.005	90.336	0.005	92.418 0.005
107.482	0.005	95.408	0.005	94.169 0.005
96.026	0.005	95.906	0.005	96.656 0.005
100.439	0.005	96.713	0.005	93.515 0.005
95.565	0.005	103.892	0.005	103.892 0.005
100.943	0.005	100.943	0.005	100.943 0.005
101.377	0.005	101.377	0.005	101.377 0.005
91.690	0.005	91.690	0.005	91.690 0.005
96.754	0.005	96.754	0.005	96.754 0.005
97.372	0.005	97.372	0.005	97.372 0.005
94.522	0.005	94.522	0.005	94.522 0.005
99.774	0.005	99.774	0.005	99.774 0.005
107.820	0.005	107.820	0.005	107.820 0.005
106.362	0.005	106.362	0.005	106.362 0.005

Рисунок 11 – Структура выходного файла второй программы с измерениями дистанций

Программный код реализации описанной программы представлен в приложении В (для равномерного распределения точек по всему пространству между сферами и для сконцентрированной области файл-сценарий «*GenerateDistances.m*»; для кратных измерений файл-сценарий «*GenerateDistances K.m*»).

Необходимые процедуры, реализованные в математических пакетах MATLAB и Mathcad, протестированы и работают исправно.

4.4.2 Описание формируемых файлов

Программы, реализованные в среде MATLAB, формируют файлы, имитирующие проведение измерений геодезистами.

Всего формируется два типа файлов: файлы со списком точек текущей конфигурации известных точек; файлы со списком измерений на текущей конфигурации. Для этого было написано два вида программ, первая из которых

генерирует координаты известных точек в зависимости от выбранной конфигурации, а вторая на основе этих координат вычисляет расстояния между этим точками и неизвестной. Каждая из программ на выходе формирует файл, в первом случае в нем содержатся координаты известных точек, во втором – расстояния. Через такие текстовые файлы осуществляется обмен данными между MATLAB и Mathcad.

Структура файлов конфигурации известных точек должна соответствовать структуре таблицы 1.

Таблица 1 – Структура файла конфигурации известных точек

Количество строк N	Количество точек M					
x1	y1	z1	x2	y2	z2	...
x1	y1	z1	x2	y2	z2	...
...						
x1	y1	z1	x2	y2	z2	...

Здесь $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_M, y_M, z_M)$ – координаты известных точек. В соответствии с видом конфигураций возможно сформировать несколько видов таких файлов:

- файл с одинаковыми строками – для исследования измерений на одной конфигурации; предполагается, что измерения проводились несколько раз из одних и тех же точек на одну неизвестную с разными погрешностями;
- файл с разными строками – для исследования измерений на разных конфигурациях; предполагается, что измерения проводились несколько раз из разных точек на одну неизвестную;
- файл, в котором все строки разные, но одна повторяется несколько раз – для исследования влияния кратности измерений на обусловленность на разных конфигурациях; предполагается, что измерения проводились несколько раз из разных точек и несколько раз из одних и тех же точек на одну неизвестную.

Структура файлов измерений должна соответствовать структуре таблицы 2.

Таблица 2 – Структура файла измерений

Количество строк N	Количество точек M					
d1	Δ_1	d2	Δ_2	d3	Δ_3	...
d1	Δ_1	d2	Δ_2	d3	Δ_3	...
...						
d1	Δ_1	d2	Δ_2	d3	Δ_3	...

Здесь $d_1, d_2, d_3, \dots, d_M$ – расстояния от известных точек до неизвестной; $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_M$ – погрешности измерений.

4.2 Проведение экспериментов по исследованию влияния конфигурации известных точек на обусловленность матрицы

Для исследования изменчивости обусловленности матрицы коэффициентов в зависимости от условий проведения геодезических измерений была проведена серия экспериментов при различных условиях. В рамках этой работы потребовалось разработать программы, как необходимые инструменты для проведения экспериментов.

4.4.1 Равновероятное распределение точек

В данном разделе рассмотрены эксперименты, в которых исследуется влияние удаленности точек с известными координатами при их равномерном распределении вокруг точки наблюдения. Рассмотрены следующие конфигурации известных точек:

- Точки сосредоточены в области между сферами с радиусами $r = 90, R = 110$ м., количество точек $N = 10$, количество измерений $M = 40$.
- Точки сосредоточены в области между сферами с радиусами $r = 490, R = 510$ м., количество точек $N = 10$, количество измерений $M = 40$.
- Точки сосредоточены в области между сферами с радиусами $r = 990, R = 1010$ м., количество точек $N = 10$, количество измерений $M = 40$.
- Точки сосредоточены в области между сферами с радиусами $r = 90, R = 1010$ м., количество точек $N = 10$, количество измерений $M = 40$.

На выходе программы, разработанной в среде Mathcad, формируется файл, содержащий данные, необходимые для оценки обусловленности матрицы: число обусловленности с использованием Евклидовой нормы; число

обусловленности с помощью сингулярного разложения матрицы коэффициентов. Также выводятся значения уклонения от точного значения результата. Пример выходного файла представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Результат работы программы для равновероятного распределения точек с параметрами $r = 90, R = 110$ м., $N = 10, M = 40$

Обусловленность матрицы		Погрешность результата, м
Евклидова норма	Сингулярное разложение	
1,998057	3,627284	0,006821
2,909743	4,265802	0,006401
2,491955	3,934246	0,001686
...
2,082417	3,590392	0,002115
3,072453	4,411102	0,002356

Для оценки влияния удаленности точек на разных конфигурациях полученные значения числа обусловленности были проанализированы путем сравнения минимального и максимального значения для каждого из трех показателей. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Оценки числа обусловленности матриц коэффициентов для равновероятного распределения точек

Расстояние до определяемой точки	Обусловленность матрицы				Погрешность результата, м	
	Евклидова норма		Сингулярное разложение			
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
90 – 110 м.	1,3249	4,9928	3,0797	6,4393	0,0012	0,0085
490 – 510 м.	1,2571	5,9419	3,0602	7,1165	0,0008	0,0083
990 – 1010 м.	1,4679	7,0665	3,1511	8,7413	0,00075	0,0083
90 – 1010 м.	1,5312	4,8574	3,1844	6,0657	0,0014	0,0066

Как можно увидеть из таблицы 4, число обусловленности по обоим нормам малы, и с увеличением расстояния между известными точками и неизвестной незначительно увеличивается, но это не влияет на погрешность результатов вычислений. При этом все значения обусловленности

удовлетворяют критерию $1 \leq \text{cond}(A) \leq 100$, что говорит о том, что сформированные матрицы коэффициентов хорошо обусловлены.

4.4.2 Точки, сконцентрированные в небольшой области

В данном разделе рассмотрены эксперименты, в которых исследуется влияние сосредоточенности точек в сконцентрированной области относительно точки наблюдения на число обусловленности. Исследуются следующие конфигурации известных точек:

- Точки сосредоточены в области усеченного конуса между сферами с радиусами $r=90, R=100$ м. в секторе от -89° до 90° , количество точек $N=10$, количество измерений $M=40$.
- Точки сосредоточены в области усеченного конуса между сферами с радиусами $r=90, R=100$ м. в секторе от -45° до 45° , количество точек $N=10$, количество измерений $M=40$.
- Точки сосредоточены в области усеченного конуса между сферами с радиусами $r=90, R=100$ м. в секторе от -5° до 5° , количество точек $N=10$, количество измерений $M=40$.
- Точки сосредоточены в области усеченного конуса между сферами с радиусами $r=90, R=100$ м. в секторе от -0.5° до 0.5° , количество точек $N=10$, количество измерений $M=40$.

Пример выходного файла для первой конфигурации представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Результат работы программы для равновероятного распределения точек в секторе от -89° до 90°

Обусловленность матрицы		Погрешность результата, м
Евклидова норма	Сингулярное разложение	
5,267187302	7,448913106	0,006306814
3,541909122	5,142410863	0,00157239
2,902182558	4,441011226	0,003779039
...
3,911422	5,22645	0,002309
2,081068	3,700717	0,004442

В таблице 6 приведены минимальные и максимальные значения для оценки погрешности вычислений на разных конфигурациях для сконцентрированной области, в которой равномерно распределены известные точки.

Таблица 6 – Оценки числа обусловленности матриц коэффициентов для равновероятного распределения точек в сконцентрированной области

Угол при вершине охватывающей пирамиды	Обусловленность матрицы				Погрешность результата, м	
	Евклидова норма		Сингулярное разложение			
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
от -89° до 90°	1,8898	5,2672	3,4790	7,4489	0,0014	0,0109
от -45° до 45°	3,1842	11,0394	4,6442	14,8543	0,0021	0,0189
от -5° до 5°	1,3889	4,1827	3,1089	5,5304	0,0114	0,1300
от -0.5° до 0.5°	1,56145	6,8040	3,2038	7,9849	0,0030	0,2231

Из таблицы 6 видно, что при сужении области расположения известных точек явного увеличения числа обусловленности не наблюдается, в то время как погрешность вычислений слабо увеличивается.

4.4.3 Измерения с одной кратной точкой

В данном разделе рассмотрены эксперименты, в которых рассмотрено влияние кратности измерений с систематической ошибкой на число обусловленности. Исследуются следующие конфигурации известных точек:

- Точки сосредоточены в области между сферами с радиусами $r=90, R=110$ м., количество точек $N=10$, количество измерений $M=40$, кратность измерений на последней точке $K=1$, величина ошибки $dR=0$ м.

- Точки сосредоточены в области между сферами с радиусами $r=90, R=110$ м., количество точек $N=10$, количество измерений $M=40$, кратность измерений на последней точке $K=10$, величина ошибки $dR=10$ м.

- Точки сосредоточены в области между сферами с радиусами $r=90, R=110$ м., количество точек $N=10$, количество измерений $M=40$, кратность измерений на последней точке $K=20$, величина ошибки $dR=20$ м.

Таблица 7 отображает выходные значения программы для выбранной конфигурации.

Таблица 7 – Результат работы программы для равновероятного распределения точек с кратностью последней $K=20$

Обусловленность матрицы		Погрешность результата, м
Евклидова норма	Сингулярное разложение	
3,715035	5,250681	2,852567
2,241457	3,784252	3,064675
2,490386	3,895536	2,25488
...
1,52018	3,178953	3,627598
2,384134	3,803857	5,082667

В таблице 8 представлены минимальные и максимальные значения для оценки погрешности вычислений на разных конфигурациях для равномерно распределенных точек с кратными измерениями на последнюю.

Таблица 8 – Оценки числа обусловленности матриц коэффициентов для равновероятного распределения точек с кратными измерениями на последней

Кратность последней точки	Обусловленность матрицы				Погрешность результата, м	
	Евклидова норма		Сингулярное разложение			
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
$K = 1$	1,4192	5,0736	3,1386	6,4265	0,0007	0,0105
$K = 10$	1,4471	4,0265	3,1710	5,3764	1,7670	10,3452
$K = 20$	1,2265	4,3146	3,0447	5,9726	3,4538	16,0762

Из таблицы 8 можно заметить, что при наличии преобладающей кратности на одном измерении, погрешность результата увеличивается. Координаты определяемой точки стремятся к измерению имеющему большую кратность. При этом число обусловленности терпит незначительные изменения.

5 Реализация программы обработки геодезических измерений

5.1 Разработка требований к проекту обработки геодезических измерений

Для реализации прототипа полновесной программы была реализовано EXE приложение. Данное приложение представляется как сложный комплекс программных средств, включающий комплект программ, библиотек и баз данных. Полный комплекс предполагает решение следующих задач:

- Создание и ведение базы данных.
- Наполнение базы данных (БД) результатами измерений. Сопровождение результатов измерений информацией, которую принято вносить в журналы геодезистами.
- Корректировка информации об измерениях.
- Выборка геодезических пунктов, координаты которых необходимо определить. Выбор опорных пунктов от которых производилось измерение на этот определяемый пункт.
- Выполнение расчетов координат определяемого пункта по результатам измерений на него.
- Регистрация результатов расчетов в БД. Занесение информации в БД об условиях проведения расчетов.

При проектировании приложения были выявлены предполагаемые потребители данной системы. Обслуживанием и контролем за функционированием комплекса будут заниматься программист и администратор БД. Пользоваться таким приложением и БД будет геодезист. Но на разных этапах работы он будет выступать в разной роли, то есть решать несколько разных круг задач. Или это будут выполнять разные люди одной организации:

- В роли планировщика формировать набор пунктов, координаты которых необходимо определить.
- В роли измерителя проводить полевые работы по замеру дистанций и углов на местности. Заносить результаты в БД.

- В роли расчетчика в камеральных условиях выполнять расчеты по результатам измерений. Заносить результаты измерений в БД.

Предполагается, что под каждый новый проект, требующий геодезического сопровождения будет создаваться отдельная независимая БД проекта. Такая база данных связана с глобальной БД содержащую, например, триангуляционную сеть страны. Данные из глобальной сети будут порождать БД проекта. Это будут первые данные об опорных точках проекта.

Процесс работы над геодезическим сопровождением является длительным и трудоемким. Поэтому предполагается, что база данных проекта будет состоять из двух БД:

- БД проекта — стационарная база данных проекта, используемая в камеральных условиях (в офисе). Хранит все измеренные и рассчитанные данные по проекту.

- Полевая БД — база данных оперативной работы. Содержит материалы текущей работы, результаты последних измерений, а также экспресс расчеты выполненные в полевых условиях. Размещается на переносных вычислительных устройствах.

Программное обеспечение предлагается реализовать в виде нескольких отдельных приложений:

- Программа ведения БД — наполнение и редактирование записей баз данных проекта, контроль корректности записей, перенос информации между базами разного уровня.

- Программа сопровождения полевых геодезических и маркшейдерских измерений.

- Программа проведения расчетов — выбор данных по результатам измерений, выполнение автоматизированного формирования СЛАУ, решение систем, занесение результатов в БД.

В рамках данной работы была спроектирована программа расчета координат определяемого геодезического пункта по результатам измерений от исходных. Реализованы отдельные процедуры программы.

5.2 Проектирование программы расчета координат по результатам геодезических измерений

Для выполнения расчетов по результатам геодезических измерений был спроектирован и реализован макетный вариант программы расчетов. Такое приложение должно предоставлять пользователю следующие возможности:

- Запускать и останавливать приложение.
- Выбирать очередную определяемую точку.
- Выбирать технологию и способ расчета.
- Решать задачи геодезии.
- Анализировать проведенные измерения.
- Выбраковывать отдельные измерения.
- Анализировать результат.
- Забраковывать результат расчета, либо заносить результат в сеть.

Архитектура программы Geodetic. Для реализации программы расчетов была предложена следующая архитектура:

- Класс формы Form — основное и дополнительные окна программы.
- Модуль UBaseClass — содержит определения нескольких структур, используемых для описания переменных программы, базовый тип для классов проекта TGeodeticCustom.
- Модуль UGeodeticClsass — содержит набор взаимодействующих классов, реализующих функциональность приложения.

Основные классы приложения Geodetic. Модуль UGeodeticClsass содержит следующие классы

Класс TFixedPnts — для хранения координат известных геодезических пунктов в оперативной памяти и оперирования с этим списком. Структура класса представлена в приложении Г (листинг 1).

Класс TDesignedPnts — для хранения в оперативной памяти и оперирования геодезическими пунктами, координаты которых были рассчитаны в ходе сеанса работы с программой. Структура класса приведена в приложении Г (листинг 2).

Класс TUnexploredPnts — для хранения в оперативной памяти и оперирования определяемыми геодезическими пунктами, координаты которых еще не были рассчитаны в ходе сеанса работы с программой. Структура класса приведена в приложении Г (листинг 3).

Класс TSurveys — для хранения в оперативной памяти и оперирования с результатами измерений от известных геодезических пунктов на неизвестные. Структура класса приведена в приложении Г (листинг 4).

Класс TSolver — содержит набор методов по формированию СЛАУ, решения их и формирования результатов в зависимости набора имеющихся измерений. Структура класса приведена в приложении Г (листинг 5).

5.2 Программная реализация методов расчета координат по результатам измерения дистанций

При работе над программой геодезических вычислений Geodetic в рамках предложенной структуры были разработаны несколько методов, входящие в состав различных классов, и обеспечивающие автоматизированное решение геодезических задач засечки на основе дистанционных измерений.

На текущем этапе разработки было реализовано несколько процедур:

- процедура формирования предварительного списка опорных точек, от которых проводилось измерение дистанций на заданную определяемую точку (приложение Г, листинг 6);
- процедура отображения информации об измерениях дистанций на заданную определяемую точку (приложение Г, листинг 7);
- процедуры формирования матрицы коэффициентов по результатам дистанционных измерений на заданную определяемую точку (приложение Г, листинг 8 для первого варианта решения задачи, листинг 9 для второго).

Для проверки функционирования программы и её отладки данные загружались из текстовых файлов. Для задания координат опорных пунктов был разработан формат файла данных известных точек.

Файл имеет следующий вид (рисунок 12):

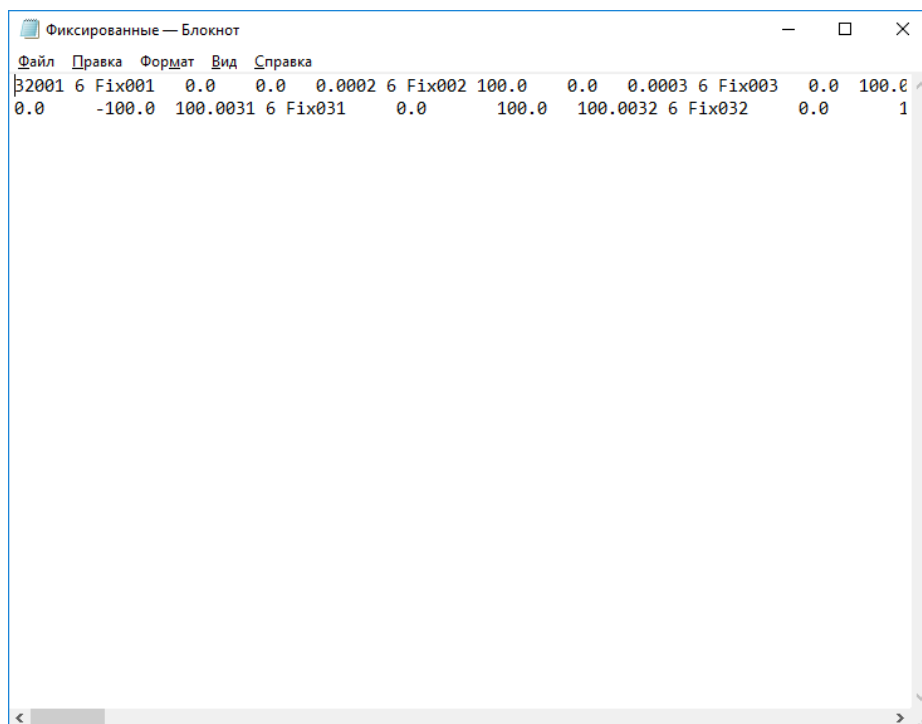


Рисунок 12 – Структура файла данных об известных точках

Для задания результатов измерения между различными пунктами разработан соответствующий формат текстового файла. Файл имеет следующий вид (рисунок 13):

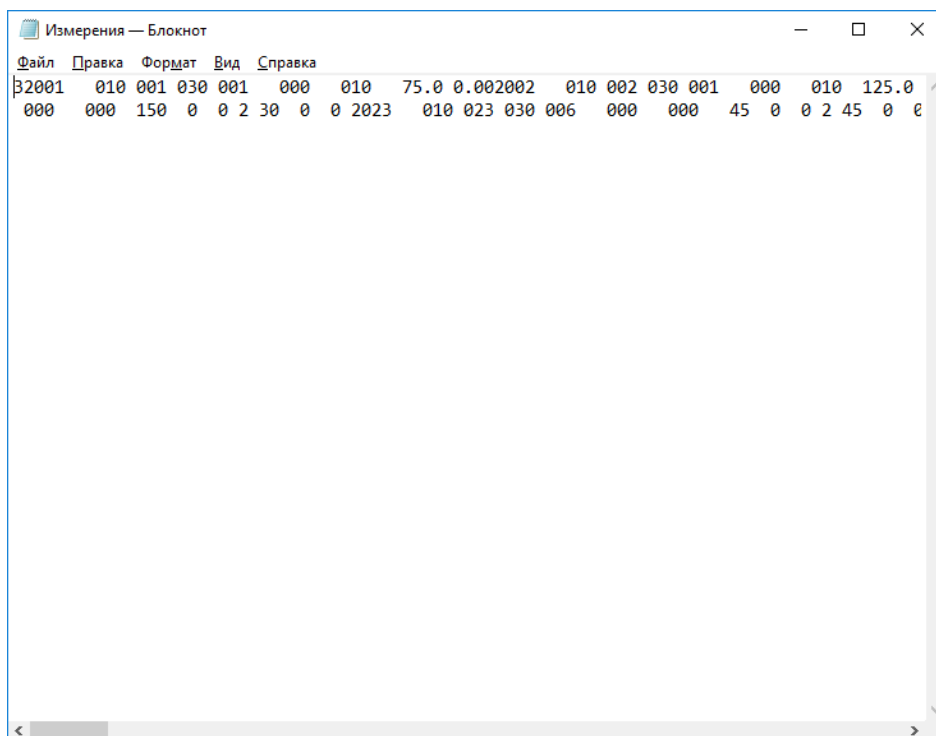


Рисунок 13 – Структура файла данных с результатами измерения

Интерфейс программы Geodetic. На рисунке 14 представлена страница выбора определяемого пункта для расчёта координат. Выбор геодезистом осуществляется исходя из количества и типов проведенных измерений, на данную точку.

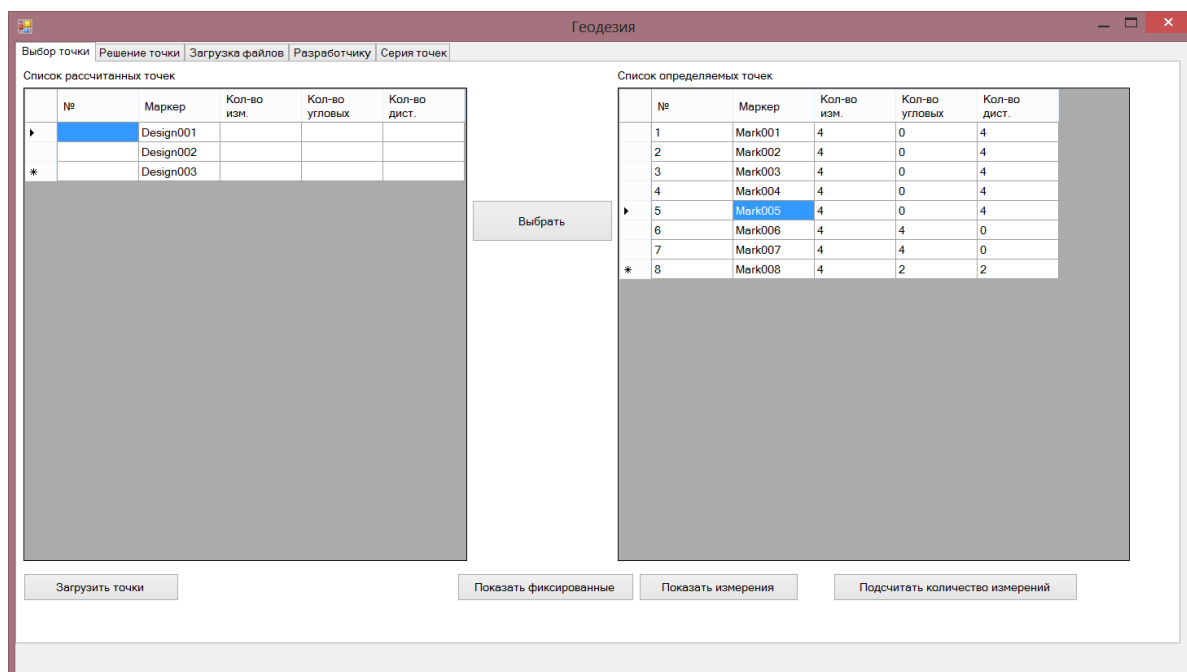


Рисунок 14 – Страница выбора определяемого пункта для расчета

На рисунке 15 представлена страница получения решения для дистанционных измерений

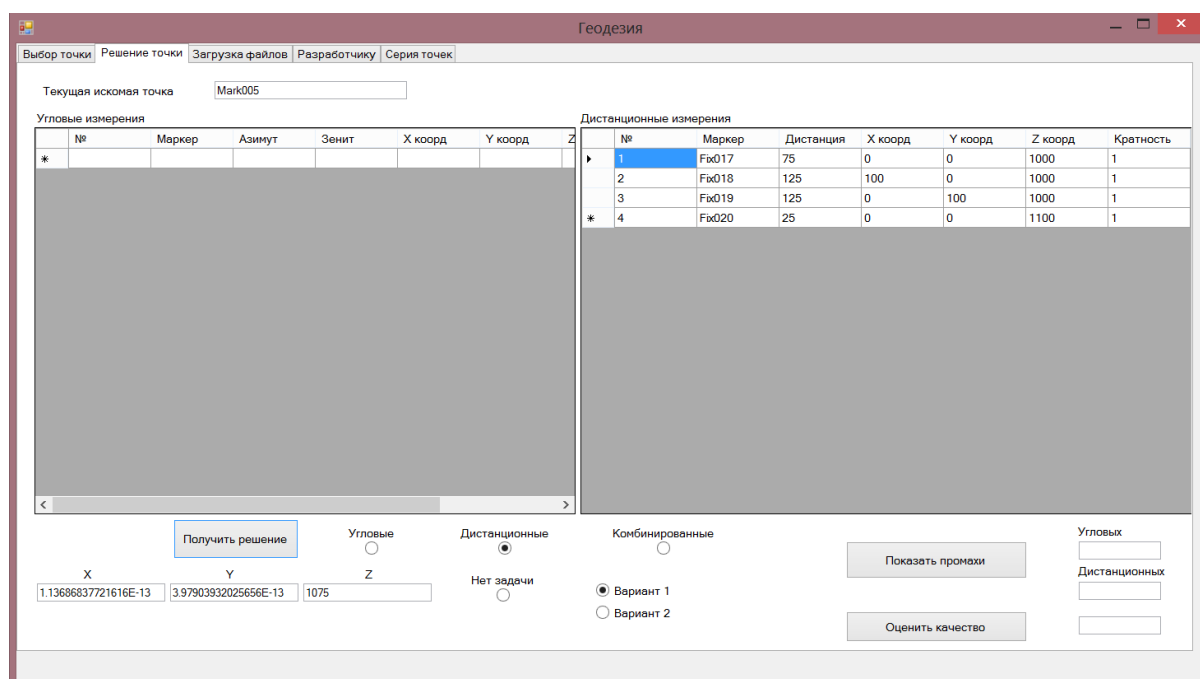


Рисунок 15 – Страница получения решения

На рисунке 16 представлена страница контроля формирования матрицы и получения SVD разложения. Используется разработчиками программы для контроля процесса вычислений.

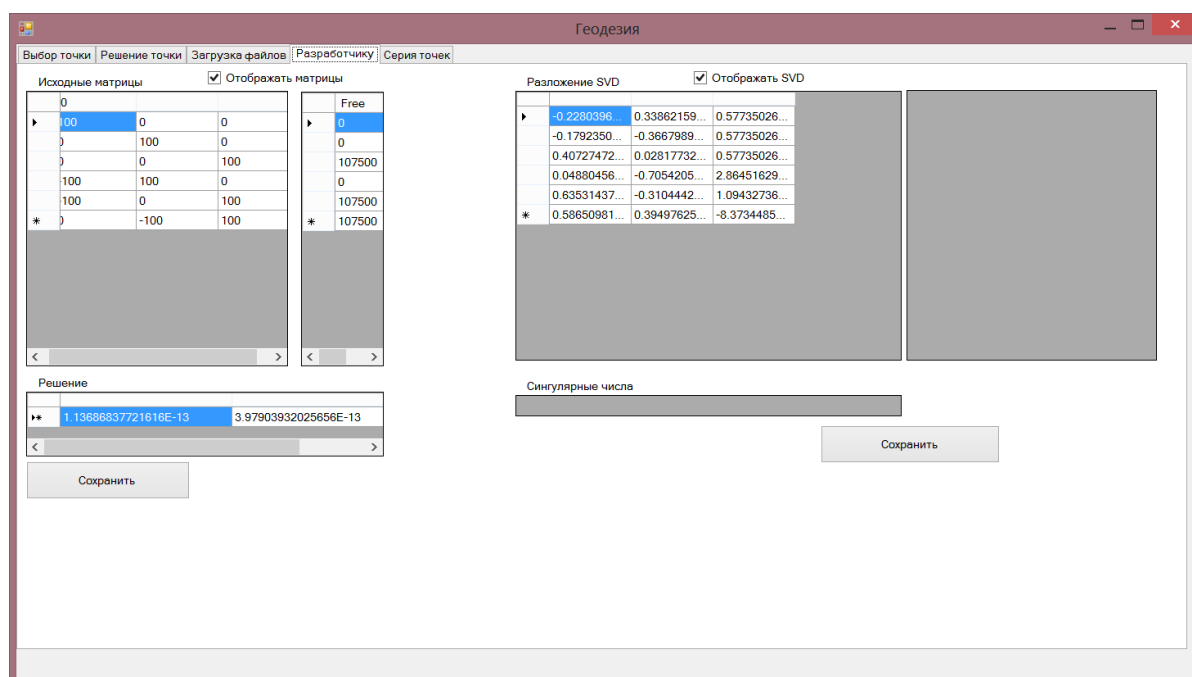


Рисунок 16 – Страница контроля формирования матрицы и получения SVD-разложения.

По структуре формируемой матрицы решение получается единственным. Задача уравнивания решения выполняется автоматически, как единственное решение системы линейных уравнений.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данный раздел является обязательной частью данной работы, представляющий собой детальный анализ экономической эффективности проекта. Он представляет собой оценку коммерческой ценности разработки и включает следующие этапы:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Целью данной работы является исследование способов решения геодезических задач методами линейной алгебры, в частности, через составление систем линейных уравнений, а также программная реализация процедур для выполнения таких исследований.

6.1 Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Разработанный программный инструментарий позволит проводить статистические исследования свойств разрабатываемой методики выполнения геодезических расчетов. В работе реализованы процедуры выполнения расчетов координат неизвестной точки по результатам измерения дистанций от известных точек. Данный инструментарий можно отнести к геодезической отрасли, в частности, проведенные исследования представляют интерес для инженеров-геодезистов.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Для достижения оптимальной ресурсоэффективности необходимо провести анализ существующих решений по данной задаче. Для этого используется оценочная карта. Рассмотрим основных конкурентов разрабатываемого алгоритма.

В настоящее время известны тригонометрические методы решения геодезических задач по поиску координат неизвестной точки. В данной работе предложен другой метод решения таких задач, при использовании которого решение сводится к задачам линейной алгебры – автоматизированному формированию коэффициентов СЛАУ по результатам измерений. Поэтому основными конкурентами будем считать программные комплексы для решения геодезических задач, в основе которых заложен тригонометрический метод определения координат неизвестной точки.

В таблице 9 представлен анализ сравнения характеристик разрабатываемого метода и метода конкурента. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 9 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критери	Баллы		Конкурентно способность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	5	6
1. Повышение производительности труда пользователя	0,2	5	3	1	0,6
2. Надежность	0,05	5	4	0,25	0,2
3. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	5	4	0,5	0,4

4. Потребность в ресурсах памяти	0,04	5	5	0,2	0,2
5. Простота эксплуатации	0,1	5	4	0,5	0,4
6. Конкурентоспособность продукта	0,2	5	4	1	0,8
7. Уровень проникновения на рынок	0,1	5	4	0,5	0,4
8. Перспективность рынка	0,05	5	5	0,25	0,25
9. Цена	0,07	5	3	0,35	0,21
10. Послепродажное обслуживание	0,05	5	5	0,25	0,25
11. Финансовая эффективность научной разработки	0,04	5	4	0,2	0,16
Итого	1			5	3,87

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле (9):

$$K = \sum B_i B_i, \quad (9)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Анализ конкурентоспособности показал, что технические и экономические показатели оценки ресурсоэффективности данной разработки опережают показатели конкурентов. Основными минусами разработок конкурентов является производительность труда пользователя и цена.

6.1.3 SWOT – анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

На первом этапе данного анализа необходимо определить Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). Результаты первого этапа представлены в таблице 10.

Таблица 10 – SWOT-анализ

Сильные стороны: С1. Низкие денежные затраты на разработку С2. Снижение трудозатрат сотрудников	Слабые стороны: Сл1. Большой срок выхода на рынок Сл2. Уровень проникновения на рынок
Возможности: В1. Доработка в связи с пожеланиями В2. Возможность продать разработку В3. Возможность интегрировать с другими системами	Угрозы: У1. Отказ от технической поддержки У2. Отсутствие спроса на доработку

Следующим этапом необходимо построить интерактивную матрицу проекта, с помощью которой возможно сопоставить области матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «–» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «–». Результаты представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта		C1	C2
	B1	-	-
	B2	-	-
	B3	-	+
Угрозы проекта	У1	-	+
	У2	-	+
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	B1	+	-
	B2	-	-
	B3	+	-
Угрозы проекта	У1	+	-
	У2	-	-

Запись сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей: B3C2.

Поскольку отсутствуют сильно коррелирующие возможности с одинаковыми сильными сторонами, можно сказать, что природа возможностей и сильных сторон разная.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа. Результат представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Низкие денежные затраты на разработку С2. Снижение трудозатрат сотрудников	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Большой срок выхода на рынок Сл2. Уровень проникновения на рынок
Возможности: В1. Доработка в связи с пожеланиями В2. Возможность продать разработку В3. Возможность интегрировать с другими системами	Возможность продажи разработки оно реализовать с помощью такой сильной стороны, как низкие денежные затраты на разработку.	Уровень проникновения на рынок может увеличить за счет расширения программы, обеспечение поддержки и повышение стоимости конкурентов
Угрозы: У1. Отказ от технической поддержки У2. Отсутствие спроса на доработку	Отсутствие спроса на расширение и отказ от технической поддержки может снизить цену программы.	Отсутствие спроса понижает уровень проникновения на рынок.

С помощью данного анализа были обозначены проблемы, стоящие перед разработчиками. Эти проблемы обусловлены имеющимися сильными и слабыми сторонами проекта, а также имеющимися внешними угрозами и возможностями. Согласно этому можно обозначить следующие направления по улучшению разработки:

- расширение функциональных возможностей разрабатываемого программного комплекса;
- повышение точности результатов работы программы по вычислению координат неизвестной точки;

- привлечение денежных ресурсов для расширения функционала и продвижения разработки на рынок.

6.2 Планирование научно-исследовательских работ

6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для организации и систематизации работы необходимо сформировать план работ. Данный этап предназначен для обеспечения своевременного и эффективного выполнения задания ВКР.

В таблице 13 представлен перечень этапов, работ и распределение исполнителей. В качестве исполнителей были выбраны следующие участники процесса:

- студент;
- руководитель.

Таблица 13 – Перечень работ по проекту

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный этап	1	Выбор темы ВКР	Студент Руководитель
	2	Получение технического задания	Студент Руководитель
	3	Подбор материала, его анализ и обобщение	Студент
	4	Формирование возможных решений поставленной задачи, выбор оптимального решения	Студент
Основной этап	5	Программная реализация компьютерной модели	Студент
	6	Тестирование модели	Студент
	7	Исправление ошибок, доработка модели	Студент
	8	Проведение исследований, получение результатов и их анализ	Студент
Заключительный этап	9	Составление отчета о проделанной работе	Студент

	10	Оценка эффективности полученных результатов	Студент Руководитель
	11	Защита ВКР	Студент

6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

В приложении Д представлены временные показатели проведения научного исследования. Рассмотрены три варианта исполнения:

- И1 – решение задачи определения координат неизвестной точки с помощью методов линейной алгебры с использованием программ MATLAB, Matchcad;
- И2 – решение задачи определения координат неизвестной точки с помощью методов линейной алгебры с использованием программных средств C++;
- И3 – решение задачи определения координат неизвестной точки с помощью тригонометрических методов.

6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

В данной работе рассматривается первый вариант исполнения. На его основе строится диаграмма Ганта, которая наглядно отображает оптимальные сроки начала и окончания выполнения работ. Результат представлен в приложении Е.

6.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Поскольку для выполнения работы не закупались никакие дополнительные материалы или оборудования, а расходы на канцелярию включаются в накладные расходы, в процессе формирования бюджета использовались следующие статьи:

- материальные затраты;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

6.3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данный раздел включает стоимость всех материалов, используемых при выполнении работы. Все расчеты сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчет материальных затрат

Наименование материалов	Цена за ед., руб	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	300	1 уп.	300
Заправка картриджа принтера	1550	1 шт	1550
Итого			1850

6.3.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата руководителя и исполнителя от ТПУ рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределяются в соответствии с занимаемыми должностями. Таким образом, оклад исполнителей работы распределяется следующим образом:

- руководитель – ППС, доцент, к.т.н. – 33664 руб.;
- студент – УВП – 9489 руб;
- районный коэффициент – 1,3.

Расчеты основной заработной платы представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

Должность	Оклад с учетом р.к.	Сред няя ЗП	Продолжитель ность работ			Основная ЗП		
			И1	И2	И3	И1	И2	И3
Руководитель	43763,2	1989,24	18,82	15	15,7	37437,43	29838,55	31231,01
Студент	12335,7	560,71	103,8	130,4	140,1	58202,08	73117,06	78555,98
Итого						95639,5	102955,6	109786,99

6.3.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчеты дополнительной заработной платы представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет дополнительной заработной платы

Должность	Основная ЗП			k	Дополнительная ЗП		
	И1	И2	И3		И1	И2	И3
Руководитель	37437,43	29838,55	31231,01	0,15	5615,61	4475,78	4684,65
Студент	58202,08	73117,06	78555,98		8730,31	10967,56	11783,40
Итого					14345,93	15443,34	16468,05

6.3.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Расчеты отчислений представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная ЗП			Дополнительная ЗП		
	И1	И2	И3	И1	И2	И3
Руководитель	37437,43	29838,55	31231,01	5615,61	4475,78	4684,65
Студент	58202,08	73117,06	78555,98	8730,31	10967,56	11783,40
Коэффициент ПФРФ	0,22					
Коэффициент ФСС	0,029					
Коэффициент ФФОМС	0,051					
Итого						
Исполнение 1	32995,63					
Исполнение 2	35519,68					
Исполнение 3	37876,51					

6.3.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Результаты расчета накладных расходов представлены в таблице общего бюджета (таблица 18). Величина коэффициента накладных расходов равна 16% от суммы предыдущих.

3.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Общий бюджет научно-исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	И1	И2	И3	
1. Материальные расходы	1850	1850	1850	Пункт 3.4.1
2. Основная ЗП	95639,5	102955,6	109786,99	Пункт 3.4.2
3. Дополнительная ЗП	14345,93	15443,34	16468,05	Пункт 3.4.3
4. Отчисления	32995,63	35519,68	37876,51	Пункт 3.4.4
5. Накладные расходы	22876,969	24626,98	26261,05	Пункт 3.4.5.
Бюджет затрат НТИ	167708,03	180395,61	192242,60	Сумма ст. 1–5

Проанализировав таблицу 18, можно сделать вывод, что наиболее экономичный вариант исполнения – первый. Это связано с наименьшей продолжительностью выполнения работ.

6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Данные величины выражаются через интегральный финансовый показатель (таблица 19) и интегральный показатель финансовой эффективности (таблица 20).

Интегральный финансовый показатель определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Таблица 19 – Расчет интегрального финансового показателя

	И1	И2	И3
Стоимость исполнения	167708,03	180395,61	192242,60
Интегральный финансовый показатель	0,87	0,94	1

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах.

Интегральный финансовый показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 20 – Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

Критерии оценки	Вес критерия	И1	И2	И3
1. Повышение производительности труда пользователя	0,2	5	5	3
2. Надежность	0,05	5	4	4
3. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	5	5	4

4. Потребность в ресурсах памяти	0,04	4	4	5
5. Простота эксплуатации	0,1	5	5	5
Ресурсоэффективность		4,85	4,65	4

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{I_{\text{р-исп.1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}}}, I_{\text{исп.2}} = \frac{I_{\text{р-исп.2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}}} \text{ и т.д.}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (таблица 21).

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}}.$$

Таблица 21 – Расчет сравнительной эффективности проекта

Показатель	И1	И2	И3
Интегральный финансовый показатель	0,87	0,94	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,85	4,65	4
Интегральный показатель эффективности	5,56	4,96	4
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,89	0,72

Согласно проведенным расчетам можно сделать вывод, что первый вариант наиболее эффективный по показателям ресурсоэффективности.

Таким образом, в рамках оценки коммерческой ценности разрабатываемого продукта был проведен ряд исследований, включающий в себя следующие разделы:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований – выполнен анализ конкурентных технических решений, а также SWOT–анализ проекта;
- поиск возможных альтернатив проведения исследований и выбор наиболее оптимального варианта решения поставленной задачи;
- планирование научно-исследовательских работ – определена структура работ в рамках исследования, участники каждой работы, их продолжительность и построен график проведения научных исследований. Также на данном этапе был выполнен расчет бюджета научно-технического исследования, который позволил выявить наиболее экономичный вариант исполнения;
- определение ресурсной, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования – выявлен наиболее эффективный вариант исполнения.

Согласно проведенным расчетам можно сделать заключение, что первый вариант исполнения наиболее эффективный как по финансовым показателям, так и по показателям ресурсоэффективности. При этом самым затратным вариантом является третий. Его стоимость равна 167708,02 рублей, в то время как стоимость минимального варианта с этой точки зрения – первого – равна 192242,6 рублей. Исходя из полученных результатов, для реализации был выбран первый вариант исполнения.

7 Социальная ответственность

При осуществлении любой проектной и научно-исследовательской деятельности большую роль играет обеспечение безопасности охраны труда и окружающей среды. В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места исследователя в процессе выполнения работы в соответствии с нормами производственной санитарии, техники безопасности и охраны труда и окружающей среды. Рабочим местом является 103 аудитория Кибернетического центра ТПУ, рабочей зоной является компьютерный стол.

Научно-исследовательская работа представляет собой разработку алгоритмов решения геодезических задач с их последующей программной реализацией. Данная работа предполагает большой объем работы с ПК, поэтому важным критерием безопасности является организация рабочего места и режима трудовой деятельности.

7.1 Производственная безопасность

В данном разделе производится анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникать при выполнении работ по разработке алгоритмов решения геодезических задач по дистанционным измерениям. Также рассматриваются вредные и опасные факторы, возникающие в процессе программной реализации данных алгоритмов, выполняемых инженером-математиком.

В таблице 22 представлен перечень вредных и опасных факторов, наиболее характерных для рабочей зоны исследователя.

Таблица 22 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке алгоритмов решения геодезических задач по дистанционным измерениям

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа за персональным компьютером	<ul style="list-style-type: none"> • Повышенный уровень шума на рабочем месте; • повышенный уровень электромагнитных излучений; • недостаточная освещенность рабочей зоны; • повышенная напряженность электромагнитного поля; • неблагоприятный микроклимат; • статические физические перегрузки; • перенапряжение зрительных анализаторов; • повышенный уровень статического электричества 	<ul style="list-style-type: none"> • Опасность поражения электрическим током; • опасность возникновения короткого замыкания. 	<ul style="list-style-type: none"> • СанПиН 2.2.4.548 – 96 [20]; • СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [21]; • СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [22]; • СНиП 23-05-95 [23]; • ГОСТ 12.1.003–83 [24]; • СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 [25]; • ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ [26]; • ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ [27]; • ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [28].

7.1.1 Повышенный уровень шума на рабочем месте

На рабочем месте инженера-математика учебной аудитории, исходя из ГОСТ 12.1.003–83 [24], действует постоянный шум. Шум возникает в помещении при ходьбе, передвижении стульев, открывании двери, сторонних разговоров, а также создается кондиционерами и вентиляторами для охлаждения нагревающихся частей ЭВМ. Основной характеристикой шума является уровень звукового давления в активной полосе частот.

При выполнении основной работы на ЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ. Допустимые уровни звукового давления в помещениях для персонала, осуществляющего эксплуатацию ЭВМ при разных значениях частот, в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 [25], приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Допустимые уровни звукового давления на рабочих местах расчетчиков, программистов вычислительных машин по СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 [25]

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	31,5	63	125	250	500	1000	2000
Программирование. Рабочее место в помещениях для программистов вычислительных машин	86	71	61	54	49	45	42
Высококвалифицированная деятельность. Рабочее место в комнатах конторских помещений	93	79	70	68	58	55	52

В помещении, где выполнялась работа, уровень шума находится в пределах нормы, допустимые уровни звукового давления соответствуют СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Для снижения шума для стен и потолков используется звукопоглощающая облицовка. Для снижения шума вентилятора ЭВМ выбран агрегат с наименьшими удельными показателями звуковой мощности и со звукопоглощающим корпусом.

7.1.2 Повышенный уровень электромагнитных излучений

В качестве источника электромагнитного излучения в данной работе рассматривается персональный компьютер.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [22], временные допустимые уровни электромагнитного поля, создаваемого персональным ЭВМ, не должны превышать значений, приведенных в таблице 24.

Таблица 24 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [22]

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

С целью уменьшения негативного воздействия электромагнитного излучения, возникающего от экрана компьютера, используются специальные жидкокристаллические мониторы. Также следует держать экран компьютера на оптимальном расстоянии от глаз (не менее 50 см, но не более 1 м) и соблюдать регламентированные режимы труда и отдыха.

В рабочем помещении воздействие электромагнитного излучения находится в пределах допустимого, т.к. выполняются рекомендации по снижению уровня ЭМП.

7.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещенность – физическая величина, характеризующая освещение поверхности, создаваемое световым потоком, падающим на эту поверхность. Освещенность измеряется в Люксах (СИ) и обозначается буквой Е.

Для искусственного освещения помещений используются лампы накаливания и газоразрядные лампы. Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03[21] помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь естественное освещение, соответствующее требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03[22]. Но помимо естественного освещения, офис должен обладать системой общего освещения. Системы комбинированного освещения рекомендуется применять в помещениях общественных зданий, где выполняется напряженная зрительная работа.

Освещенность на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы; равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и отсутствие резких теней; величина освещения постоянна во

времени (отсутствие пульсации светового потока); оптимальная направленность светового потока и оптимальный спектральный состав.

Работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности для помещений жилых и общественных зданий. Согласно СНиП 23-05-95[23], такие помещения должны удовлетворять требованиям, указанным в таблице 25.

Таблица 25 – Требования к освещению помещений жилых и общественных зданий при зрительной работе высокой точности по СНиП 23-05-95[27]

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение	Совмещенное освещение			
						Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации		КЕО, e_n , %				
											при системе комбинированного освещения	при системе общего освещения	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении
						всего	в том числе от общего	P	K_n , %						
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	6	Малый Средний	Средний Темный	1000 750	200 200	300 200	40 20	15 15	—	—	3,0	1,2	

Естественное освещение создается прямыми солнечными лучами или рассеянным светом небосвода. Ультрафиолетовое излучение, входящее в состав спектра солнечного света, имеет огромное значение для здоровья человека, но тем не менее оно практически полностью при прохождении сквозь стекло задерживается, и не проникает внутрь помещений. Поэтому, при работе в помещениях без окон во время рабочего дня необходимо позволять исследователю выходить на улицу, или же на некоторое время разрешить ему находиться в комнате с окнами.

7.1.3.1 Расчет искусственного освещения на рабочем месте инженера-математика

В помещении, в котором производились работы, используются люминесцентные лампы для искусственного освещения. Всего имеется шесть светильников, по четыре лампы в каждом. Площадь помещения – 20 м^2 . Фактическая освещенность рассчитывается по следующей формуле:

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot n \cdot \Phi_{\text{см}} \cdot y}{S \cdot K \cdot z},$$

где N – число светильников, шт;

n – число ламп в светильнике, шт;

$\Phi_{\text{см}}$ – световой поток люминесцентной лампы, лм (при мощности 11 Вт – 750лм);

y – коэффициент использования светового потока (для исследуемого помещения – 0.8);

S – площадь помещения, м^2 ;

k – коэффициент запаса (для люминесцентных ламп – 1,5);

z – коэффициент неравномерного освещения (для люминесцентных ламп – 1,1).

Имеем

$$E_{\phi} = \frac{6 \cdot 4 \cdot 750 \cdot 0.8}{20 \cdot 1.5 \cdot 1.1} = 327.$$

Отличие от нормированного уровня

$$\Delta E = \frac{E_{\phi} - E_{\text{норм}}}{E_{\text{норм}}} \cdot 100\%.$$

$$\Delta E = \frac{327 - 300}{300} \cdot 100\% = 9\%.$$

Допускается отклонение светового потока от -10% до +20%. Полученное значение попадает в необходимый интервал, следовательно, нормы освещенности соблюдаются.

7.1.4 Неблагоприятный микроклимат

Нарушение теплового баланса в условиях высокой температуры может привести к перегреву тела, и как следствие к тепловым ударам с потерей сознания. В условиях низкой температуры воздуха возможно переохлаждение организма, могут возникнуть простудные болезни, радикулит, бронхит и другие заболевания [30].

Основные виды работ, выполняемые инженером-математиком, по степени физической тяжести, относятся к категории легких работ, потому что производятся сидя и сопровождаются незначительным физическим напряжением.

В помещении предусмотрена система отопления, функционирующая в зимнее время. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха.

В соответствии с характеристикой помещения определен расход свежего воздуха. Нормы подачи свежего воздуха приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Нормы подачи свежего воздуха в помещении, где расположены компьютеры по СанПиН 2.2.4.548-96 [20]

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемого в помещение свежего воздуха, м ³ /на одного человека в час
Объем до 20 м ³ на человека	Не менее 30
20–40 м ³ на человека	Не менее 20
Более 40 м ³ на человека	Естественная вентиляция
Помещение без окон и световых фонарей	Не менее 60

Системы отопления, несмотря на свою пользу, имеют и негативную сторону. Как центральное отопление, так и обогреватели сушат воздух. Следствием недостаточной вентиляции, является низкое содержание кислорода в воздухе, что ведет к повышенной утомляемости исследователя, сонливости, а также высокая влажность и конденсация влаги на охлажденных поверхностях (стенах, оконных откосах, стеклах), которая создает благоприятную среду для развития гнилостных грибков и плесени – сильнейших аллергенов. Поэтому в аудитории, где выполнялась работа, установлена дополнительная приточно-

вытяжная вентиляция, позволяющая соблюдать нормы подачи свежего воздуха в помещение.

7.1.5 Статические физические перегрузки

Характерной при работе с ЭВМ является такая физическая перегрузка, как длительное статическое напряжение мышц. Оно обусловлено вынужденным продолжительным сидением в одной и той же позе, часто неудобной, необходимостью постоянного наблюдения за экраном (напрягаются мышцы шеи, ухудшается мозговое кровообращение), набором большого количества знаков за рабочую смену (статическое перенапряжение мышц плечевого пояса и рук). При этом возникает также локальная динамическая перегрузка пальцев и кистей рук. Статическим перенапряжениям мышц способствуют неудовлетворительные эргономические параметры рабочего места и его компонентов (отсутствие подлокотников, пюпитра, подставки для ног), отсутствие возможности регулировки параметров рабочего стула, высоты рабочей поверхности стола, неудобное расположение клавиатуры и дисплея.

Сиденье стула должно иметь закругленный передний край; клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, или на специальной регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

В качестве средства профилактики заболеваний, связанных с сидячим образом жизни, предлагается использовать физкультминутки (ФМ). ФМ способствует снятию локального утомления. По содержанию ФМ различны и предназначаются для конкретного воздействия на ту или иную группу мышц или систему организма в зависимости от самочувствия и ощущения усталости.

7.1.6 Перенапряжение зрительных анализаторов

Отмечается специфическое зрительное утомление у пользователей дисплеев. Изображение на дисплее принципиально отличается от привычных глазу объектов наблюдения — оно светится, мерцает, состоит из дискретных точек, а цветное компьютерное изображение не соответствует естественным цветам. Большую нагрузку орган зрения испытывает при вводе информации,

так как пользователь вынужден часто переводить взгляд с экрана на текст и клавиатуру, находящиеся на разном расстоянии и по-разному освещенные. Зрительное утомление проявляется жалобами на затуманивание зрения, трудности при переносе взгляда с ближних предметов на дальние и с дальних на ближние, кажущиеся изменения окраски предметов, их двоение, чувство жжения, «песка» в глазах, покраснение век, боли при движении глаз.

Для минимизации влияния фактора на организм человека, следует соблюдать порядок перерывов. В таблице 27 приведено суммарное время регламентированных перерывов для выбранного вида и категории трудовой деятельности. Трудовая деятельность разработчика программного обеспечения относится к группе В – творческая работа в режиме диалога с персональной ЭВМ. Данный вид трудовой деятельности занимает 6 часов рабочего времени, что относит ее к третьей категории тяжести и напряженности работы.

Таблица 27 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида и категории трудовой деятельности с персональной ЭВМ (по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) [22]

Суммарное время регламентированных перерывов, мин
При 8-часовой рабочей смене
90

Так же существуют комплексы упражнений для глаз. Упражнения выполняются сидя или стоя, отвернувшись от экрана при ритмичном дыхании, с максимальной амплитудой движения глаз.

7.1.7 Повышенный уровень статического электричества

Основным источником повышенного уровня статического электричества при работе за компьютером является монитор. На экранах мониторов положительные заряды накапливаются под действием электронного пучка, создаваемые электронной лучевой трубкой.

При образовании заряда с большим электрическим потенциалом создается электрическое поле повышенной напряженности, которое вредно для

человека. У людей, работающих в зоне воздействия электростатического поля, встречаются разнообразные жалобы: на раздражительность, головную боль, нарушение сна, снижение аппетита и др. При длительном пребывании человека в таком поле наблюдаются функциональные изменения в центральной нервной, сердечно-сосудистой и других системах.

Допустимые уровни статического электричества:

- электростатический потенциал экрана монитора – 500 В;
- напряженность электростатического поля – 15 кВ/м.

Согласно ГОСТ 12.4.124-83 [14] к средствам защиты от повышенного уровня статического электричества относятся:

- заземляющие устройства;
- нейтрализаторы (индукционные, высоковольтные, лучевые, аэродинамические);
- увлажняющие устройства (испарительные, распылительные);
- антиэлектростатические вещества (вводимые в объем, наносимые на поверхность);
- экранирующие устройства (козырьки, перегородки).

На рабочем месте инженера-математика, выполняемого данную работу, уровень статического электричества находится в пределах нормы, благодаря используемым средствам защиты.

7.1.8 Опасность поражения электрическим током

Поражение электрическим током является опасным производственным фактором и, поскольку оператор персональной ЭВМ имеет дело с электрооборудованием, то вопросам электробезопасности на его рабочем месте должно уделяться много внимания. Нормы электробезопасности на рабочем месте регламентируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [22], вопросы требований к защите от поражения электрическим током освещены в ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [27].

Помещение, где расположено рабочее место оператора персональной ЭВМ, относится к помещениям без повышенной опасности ввиду отсутствия

следующих факторов: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы, высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и металлическим корпусам электрооборудования.

Для оператора персональной ЭВМ при работе с электрическим оборудованием обязательны следующие меры предосторожности:

- перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголенных токоведущих частей;
- при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо, не делая никаких самостоятельных исправлений, сообщить человеку, ответственному за оборудование;

По предотвращению возможности поражения электрическим током выполнены следующие мероприятия:

- при производстве монтажных работ используются только исправные инструменты, аттестованные службой КИПиА;
- с целью защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом при пробое сетевого напряжения на корпус, корпуса приборов и инструментов заземлены;
- при включенном сетевом напряжении работы на задней панели запрещены;
- все работы по устранению неисправностей производит квалифицированный персонал;
- выполняются постоянные проверки электропроводки на исправность.

7.1.9 Опасность возникновения короткого замыкания

Короткое замыкание — одна из опаснейших неисправностей электрических цепей. Оно возникает при соединении проводов проводником с очень малым сопротивлением. Короткое замыкание может вывести прибор из строя и служить причиной пожара даже при низковольтных источниках тока.

Большая часть пожаров возникает вследствие короткого замыкания электропроводки.

Короткие замыкания в электропроводке чаще всего происходят из-за нарушения изоляции токопроводящих частей в результате механического повреждения, старения, воздействия влаги.

Так как основная часть работы инженера-математика состоит во взаимодействии с ЭВМ, вопросы по предотвращению развития короткого замыкания особенно актуальны. Самым эффективным методом является установка автоматического выключателя или же плавких предохранителей. Таким образом, при возникновении короткого замыкания выключатель своевременно отключит питание, тем самым предотвратит возникновение опасной ситуации. Также необходимо выполнять постоянную проверку электропроводки, благодаря которой можно визуально определить место оплавления изоляции и перейти к устранению неполадки.

7.2 Экологическая безопасность

Работа за персональным компьютером не является экологически опасной работой, потому объект, на котором производились исследования и разработка относятся к предприятиям пятого класса, размер селитебной зоны для которых равен 50 м.

Негативного воздействия разрабатываемого объекта на окружающую среду не происходит, т.к. объект не является материальным. Однако, средства, необходимые для его разработки и эксплуатации могут наносить вред окружающей среде.

Современные персональные ЭВМ производят практически без использования вредных веществ, опасных для человека и окружающей среды. Исключением являются аккумуляторные батареи компьютеров и мобильных устройств. В аккумуляторах содержатся тяжелые металлы, кислоты и щелочи, которые могут наносить ущерб окружающей среде, попадая в гидросферу и литосферу, если они были неправильно утилизированы. Утилизация такого оборудования является достаточно сложной, так как такие отходы имеют

сложную структуру. Непосредственная переработка большей части компонентов включает в себя их сортировку, последующую гомогенизацию и отправку для повторного использования, т.е. с предварительным помолом или переплавкой.

Люминесцентные лампы представляют собой «чрезвычайно опасные» виды отходов. Содержание ртути в любых люминесцентных лампах составляет от трех до пяти миллиграмм ртути. С учетом этого необходимо обеспечивать определенные условия хранения, их эксплуатации и утилизации. Согласно санитарным нормам хранить ртутьсодержащие отходы необходимо в специальных герметичных контейнерах, доступ посторонним лицам к таким контейнерам должен быть запрещен. Транспортировка ламп на полигоны складирования должна выполняться организациями, которые специализируются на утилизации опасных отходов и имеют соответствующую лицензию. Категорически запрещено размещение таких отходов, как люминесцентные лампы на полигонах твердых бытовых отходов [31].

7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В рабочей среде оператора персональной ЭВМ возможно возникновение следующих чрезвычайных ситуаций техногенного характера:

- пожары и взрывы в зданиях и на коммуникациях;
- внезапное обрушение зданий.

Среди возможных стихийных бедствий можно выделить геофизические (землетрясения), метеорологические (ураганы, ливни, заморозки), гидрологические (наводнения, паводки, подтопления), природные пожары.

Наиболее характерной для объекта, где размещаются рабочие помещения, оборудованные персональными ЭВМ, чрезвычайной ситуацией является пожар. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ [7] и ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ [27].

Возникновение пожара является опасным производственным фактором, т.к. пожар на предприятии наносит большой материальный ущерб, а также часто сопровождается травмами и несчастными случаями. Регулирование

пожаробезопасности производится СНиП 21-01-97 [32]. В помещениях с персональной ЭВМ повышен риск возникновения пожара из-за присутствия множества факторов: наличие большого количества электронных схем, устройств электропитания, устройств кондиционирования воздуха; возможные неисправности электрооборудования, освещения, или неправильная их эксплуатация может послужить причиной пожара.

Каждый сотрудник организации должен быть ознакомлен с инструкцией по пожарной безопасности, пройти инструктаж по технике безопасности и строго соблюдать его.

Чтобы предотвратить пожар в комнате, необходимо:

- содержать помещение в чистоте, убирать своевременно мусор. По окончании работы поводить влажная уборка всех помещений;
- работа должна проводиться только при исправном электрооборудовании;
- на видном месте должен быть вывешен план эвакуации из корпуса с указанием оборудования, которое нужно эвакуировать в первую очередь;
- уходящий из помещения последним должен проверить выключены ли нагревательные приборы, электроприборы и т.д. и отключение силовой и осветительной электрической сети.

Также необходимо соблюдение организационных мероприятий:

- Правильная эксплуатация приборов, установок;
- правильное содержание помещения;
- противопожарный инструктаж сотрудников аудитории;
- издание приказов по вопросам усиления ПБ;
- организация добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий;
- наличие наглядных пособий и т.п.

В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение.

Основными средствами и способами защиты от поражения электрическим током являются:

- недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения;
- защитное заземление, зануление или отключение;
- вывешивание предупреждающих надписей;
- контроль за состоянием изоляции электрических установок;
- использование дополнительных средств защиты.

Для предотвращения пожара помещение с персональной ЭВМ должно быть оборудовано первичными средствами пожаротушения: углекислотными огнетушителями типа ОУ-2 или ОУ-5; пожарной сигнализацией, а также, в некоторых случаях, автоматической установкой объемного газового пожаротушения.

Требования электробезопасности электроустановок производственного и бытового назначения на стадиях проектирования, изготовления, монтажа, наладки, испытаний и эксплуатации, а так же технические способы и средства защиты, обеспечивающие электробезопасность электроустановок различного назначения приведены в ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [28].

7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Согласно ст. 91 ТК РФ нормальная продолжительность рабочего времени в неделю не может превышать 40 часов. Для работников, которые являются инвалидами I или II группы устанавливается сокращенная продолжительность рабочего времени – не более 35 часов в неделю, в соответствии с ст. 92 ТК РФ. Возможно, применение гибкого режима рабочего времени по согласованию с руководством. В соответствии с медицинским заключением беременным женщинам по их заявлению снижаются нормы

выработки, при этом сохраняется среднего заработка по прежней работе (ст. 254 ТК РФ).

7.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

В процессе работы, все используемые предметы должны находиться в зоне досягаемости. Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости приведено на рисунке 17.

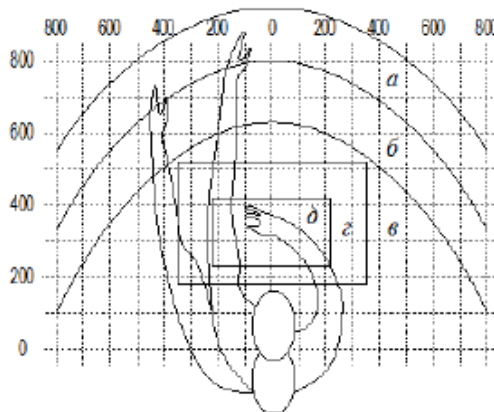


Рисунок 17 – Оптимальное размещение предметов труда

На рисунке 17 введены следующие обозначения: а – зона максимальной досягаемости, б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке, в – зона легкой досягаемости ладони, г – оптимальное пространство для грубой ручной работы, д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Для повышения комфорта в процессе работы за ПЭВМ, следует соблюдать нормы и требования, изложенные в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03[32].

Когда характер работы требует постоянного взаимодействия с видеодисплейными терминалами (набор текстов или ввод данных и т.п.) с напряжением внимания и сосредоточенности, при исключении возможности периодического переключения на другие виды трудовой деятельности, не связанные с ПЭВМ, рекомендуется организация перерывов на 10-15 мин через каждые 45-60 мин работы.

В помещении, оборудованном ПЭВМ, проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ПЭВМ, которое проводится во время перерывов при работе за ПЭВМ.

Таким образом, в рамках организации рабочего места исследователя в процессе выполнения работы были проведены следующие исследования:

- проведен анализ вредных и опасных производственных факторов, которые могут возникать при разработке алгоритмов решения геодезических задач;
- рассмотрен характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду и способы минимизации его воздействия на окружающую среду;
- проведен анализ вероятных чрезвычайных ситуаций, которые могут возникать при реализации разрабатываемого алгоритма, в частности, опасность возникновения пожара; рассмотрены методы ее предотвращения, а также способы защиты;
- рассмотрены правовые нормы трудового законодательства, в частности, продолжительность рабочего времени;
- организован список мероприятий по компоновке рабочей зоны.

Согласно проведенным исследованиям можно сделать вывод, что, при выполнении работ по разработке алгоритмов решения геодезических задач, в полной мере обеспечена безопасность охраны труда и окружающей среды. Рабочее место организовано согласно соответствующим нормам производственной санитарии, технике безопасности, влияние вредных и опасных факторов минимально, так как выполнены все соответствующие мероприятия по минимизации воздействия факторов на организм исполнителя работ, а также на окружающую среду.

Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем:

- изучены основные способы проведения геодезических измерений;
- рассмотрены традиционные методы вычисления координат определяемой точки по результатам дистанционных измерений;
- изучены новые методы решения геодезических задач через формирование систем линейных уравнений по результатам измерений;
- разработана методика проведения исследования влияния техники измерения на погрешность результатов расчетов;
- с использованием математических пакетов MATLAB и Mathcad реализованы алгоритмы вычисления координат определяемой точки для однократных и многократных вычислений;
- разработано приложение для обработки геодезических измерений;
- проведен анализ влияния конфигурации опорных точек на погрешность окончательных вычислений;
- в ходе исследований было выявлено, что при увеличении расстояния между пунктами число обусловленности матрицы увеличивается, но погрешность результатов не изменяется;
- сужение области распределения известных точек влечет за собой увеличение погрешности результатов расчетов;
- при наличии кратных измерений координаты определяемой точки стремятся к измерению, имеющему большую кратность.

В рамках оценки коммерческой ценности был проведен ряд исследований, в ходе которого было рассмотрено несколько вариантов реализации поставленной задачи. Исходя из результатов анализа, для реализации был выбран наиболее эффективный вариант исполнения как по финансовым показателям, так и по показателям ресурсоэффективности. Стоимость такого варианта исполнения составляет 192242,6 рублей.

В рамках раздела «Социальная ответственность» был проведен анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте исследователя, анализ вероятных чрезвычайных ситуаций, которые могут возникать в процессе выполнения работы. Согласно проведенным исследованиям можно сделать вывод, что, при выполнении работ по разработке алгоритмов решения геодезических задач, в полной мере обеспечена безопасность охраны труда и окружающей среды. Рабочее место организовано согласно соответствующим нормам производственной санитарии, технике безопасности, влияние вредных и опасных факторов минимально, так как выполнены все соответствующие мероприятия по минимизации воздействия факторов на организм исполнителя работ, а также на окружающую среду.

Список использованных источников

- 1 Попов В.Н., Букринский В.А. Геодезия и маркшейдерия. – М.: изд-во «Горная книга», 2007. – 453 с.
- 2 Подклад Г.Г. Геодезия: учебное пособие для вузов/ Г.Г. Подклад, С.П. Гриднев. – М.: Академический Проект, 2007. – 592 с.
- 3 Маркузе Ю.И., Голубев В.В. Теория математической обработки геодезических измерений. – М.: Академический проект, 2010. – 247 с.
- 4 Гайдаев П.А., Большаков В.Д. Основы уравнительных вычислений: Учеб. пособие для вузов. – М.: Недра, 1990. – 240 с.
- 5 Большаков В.Д., Маркузе Ю.И., Голубев В.В. Уравнивание геодезических построений: Справочное пособие. – М.: Недра, 1989. – 413 с.
- 6 Научно-образовательный материал «Инженерная геодезия» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mgsu.ru/organizations/RealizDogovorov/realizatsiya-2009/2009-4-polnye/11.4.2.5-polnaya.pdf>, свободный
- 7 Пучков Л.А. Маркшейдерская энциклопедия. – Москва: Мир горной книги, 2006. – 605 с.
- 8 Зданович В.Г. Высшая геодезия. – Москва: Недра, 1970. – 512 с.
- 9 Медведев П.А. Теория и методология повышения эффективности и точности решения главных геодезических задач на поверхности эллипсоида и в пространстве – Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat, 2010 – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/teoriya-i-metodologiya-povysheniya-effektivnosti-i-tochnosti-resheniya-glavnykh-geodezicheskix-izmereniy> – свободный
- 10 Основы геодезических измерений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.2vg.ru/geologiya_gidrologiya_i_geodeziya/osnovy_geodezicheskix_izmerenij_i4.html, свободный
- 11 Ильин В. А., Позняк Э. Г. Линейная алгебра: Учебник для вузов. – М.: Физматлит, 2004. – 280 с.

12 Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. Учеб. пособие для вузов. Изд. 4, перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 616 с.

13 Вылегжанин О.Н., Рыбалка С.А. Расчет координат неизвестной точки по результатам дирекционных измерений // Маркшейдерский вестник. 2016. № 5. С.18–22.

14 Подшивалов В.П. Инженерная геодезия: учебник / В.П. Подшивалов, М.С. Нестеренок. – Минск: Выш. шк., 2011. – 463 с.

15 Основы геодезических измерений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://www.2vg.ru/geologiya_gidrologiya_i_geodeziya/osnovy_geodezicheskix_izmerenij_i4.html, свободный

16 Сергеева Ю.С. Реализация алгоритмов обработки геодезических данных // Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». – Томск: ТПУ, 2014. – С.208 - 209.

17 Вылегжанин О.Н., Рыбалка С.А., Сергеева Ю.С. Расчет координат неизвестной точки по результатам дистанционных измерений // Маркшейдерский вестник. 2016. № 5. С.18 – 22.

18 Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных: справочное издание. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.

19 Борщ-Компониец В.И. Геодезия. Маркшейдерское дело – Москва: Недра, 1989. – 512 с.

20 СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

21 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.

22 СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

- 23 СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
- 24 ГОСТ 12.1.003–83. Шум. Общие требования безопасности труда.
- 25 СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
- 26 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 27 ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
- 28 ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 29 Мельникова, Н.А. Основы медицинских знаний и здорового образа жизни: учебно-метод. пособие. Ч. I / Н.А. Мельникова, В.Н. Лукьянова; Мордов. гос. пед. ин-т. –Саранск, 2005. –105 с.
- 30 Методические рекомендации «Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания» № 5168-90 от 05.03.90. В сб.: Гигиенические основы профилактики неблагоприятного воздействия производственного микроклимата на организм человека. В. 43, М. 1991, с. 192-211.
- 31 «Утилизация компьютерной техники». «Промышленность России». [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный http://hromax.ru/utilizatsiya_kompyuternoy_tehniki.html.
- 32 СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
- 33 ГОСТ 12.4.011-89. Средства защиты рабочих. Общие требования и классификация.

Приложение А
(справочное)

**Development of methods for calculating the coordinate of a determinable point
by remote measurements**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ61	Иванова Алена Дмитриевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ИШИТР	Рыбалка Сергей Анатольевич	к. т. н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Комиссарова Ольга Валентиновна	к. фил. н.		

There are a large number of tasks of geodesy, which differ in terms of complexity, computational methods, and so on. However, in the basis of any of them is the problem to determining the coordinates of an unknown point, in particular from the measurement of distances, when measurements are taken to this point from the points whose coordinates are known. There are a large number of methods for solving this task, which differ in the complexity, complexity and accuracy of the solution obtained.

The use of computer technology makes it possible to perform complex calculations. This reduces the time required to process the measurement results. As for accuracy, then the main way to increase it is to increase the number of measurements, and also to apply more effective estimates of the measured quantities. In addition, there is a development of universal approaches to solving a wider range of tasks.

In this dissertation we propose two methods to solve a task that determine the coordinates of an unknown point from the results of geodetic measurements that are performed on this point from other points. To solve this problem, we can assume that the coordinates of points and distances are given in the Cartesian coordinate system, and the distances are hundreds of meters, i.e. the curvature of the earth's surface is not taken into account.

3.1 Geometric interpretation of the problem of intersection for remote measurements

We consider the problem on the plane. The distance R_i , which is measured from some point X_i , is determines the circle C_i with the center at the point X_i and the radius R_i . Two circles C_i and C_j intersect at two points (figure 4). The paper does not consider cases when circles do not intersect. Solving the system of nonlinear equations and additional information allow us to determine the coordinates of a single point X_Z .

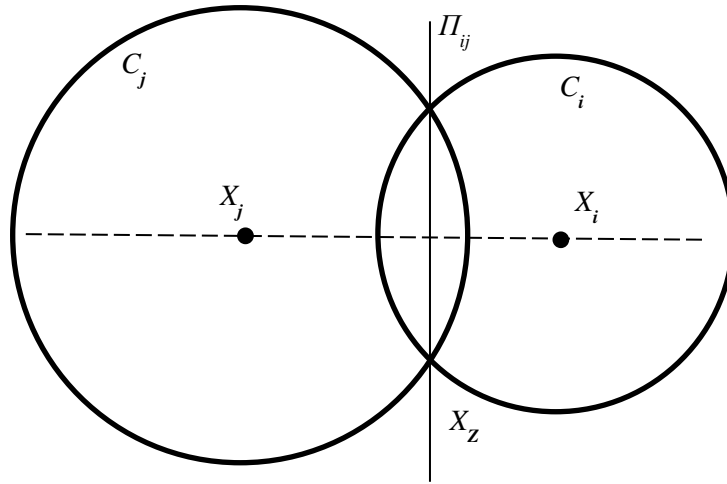


Figure 18 – The intersection of two plane

It should be noted that these two points are on a straight line Π_{ij} , and this straight line Π_{ij} is perpendicular to the segment $(X_i - X_j)$. As an additional condition, there may be a third circle C_k . In this case the nonlinear equation system can be reduce to the linear equation system. This way will be shown below.

At the same time, the intersection of three circles generates three lines. These lines intersect at the same determined point. The parameters of each line can be calculated and written through implicit equations for each straight line. Then we can make the linear equation system as the intersection of these three straight lines (figure 5).

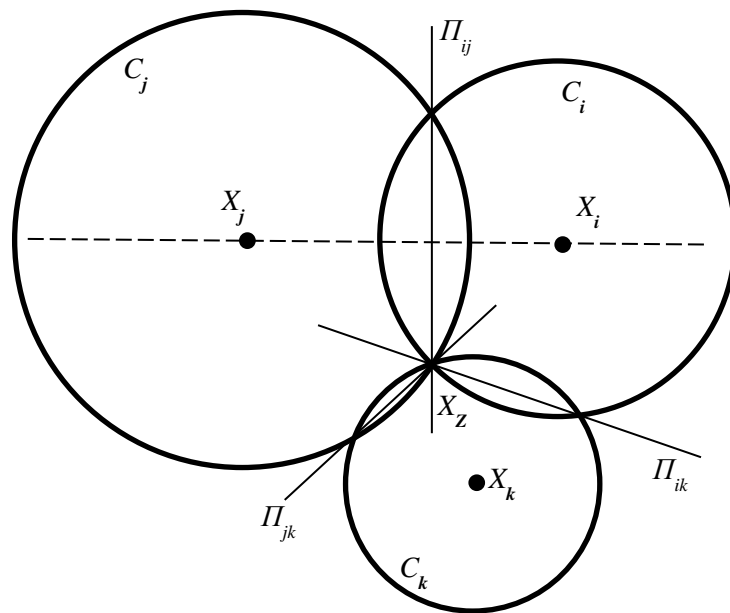


Figure 19 – The intersection of three circles and three straight lines

In figure 6 is shown the intersection of spheres in the three-dimensional case

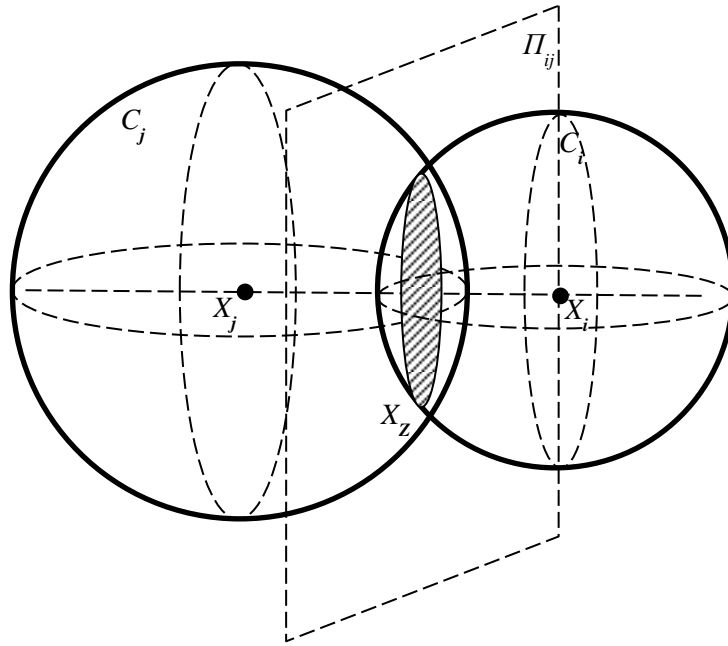


Figure 20 – The intersection of two spheres in the space

In the case where the measurements are carried out in space, we obtain a similar situation. But the dimensionality of space increases and there are significant differences. The point X_i and the measured distance R_i are define the sphere C_i of radius R_i with center at the point X_i . Two spheres C_i and C_j are intersect along a circle that lies in the plane Π_{ik} . The third sphere C_k is intersects this circle and defines two points. And the fourth sphere is allows to choose one point from two. That is, the point of intersection is a solution of a system of 4 nonlinear equations.

The point of intersection can be considered as a result of other objects – planes. Each pair of spheres generates a plane. Three spheres generate three planes, but these planes intersect along one straight line. The centers of these spheres define a plane, and the line of intersection is perpendicular to this plane. The fourth sphere intersects this line at the determined point and determines it. The mutual intersection of n spheres generates the number of combinations from n to 2. Four spheres generate six planes. These planes intersect at the determined point X_z .

As in the planar case, the spatial problem of intersection of four or more spheres can also be reduced to a system of linear equations.

Every measurement has an error. The excessive number of measurements also makes it possible to reduce the error of the result by constructing a unique optimal solution in a certain sense, for example, based on the method of least squares.

Problem statements. Suppose, that linear measurements R_i are made from points X_i , $i=1, 2, \dots, N$ with known coordinates $X_i = (x_i, y_i, z_i)^T$, $i=1, 2, \dots, N$ to points X_z whose coordinates are not known $X_z = (x_z, y_z, z_z)^T$. It is necessary to determine the coordinates of an unknown point X_z .

Several solutions have been proposed to solve this problem.

3.2 The first variant of the solution of the problem of intersection by remote measurements

The idea of the solution is to construct the quadratic equations of distance between known and unknown points. From these equations linear equations system is constructed by obtaining the difference between the initial equations. Then it is possible to get rid of the quadratic component.

We can write the distances values as R_1, R_2, \dots, R_N . Suppose, that they are given in Cartesian coordinate system. Then we can write several equalities of the form

$$\begin{aligned} (X_z - X_1)^T (X_z - X_1) &= R_1^2, \\ (X_z - X_2)^T (X_z - X_2) &= R_2^2, \\ &\dots \\ (X_z - X_N)^T (X_z - X_N) &= R_N^2. \end{aligned} \tag{1}$$

Let us find the pairwise difference between such equations. For the pair i and j , we obtain the following relation:

$$(X_z - X_i)^T (X_z - X_i) - (X_z - X_j)^T (X_z - X_j) = R_i^2 - R_j^2,$$

Expanding the brackets and simplifying, we get

$$-2X_z^T X_i + X_i^T X_i + 2X_z^T X_j - X_j^T X_j = R_i^2 - R_j^2.$$

We can transfer the known quantities to the right-hand side:

$$-2X_z^T X_i + 2X_z^T X_j = R_i^2 - R_j^2 - X_i^T X_i + X_j^T X_j,$$

or

$$2X_Z^T(X_j - X_i) = R_i^2 - R_j^2 - X_i^T X_i + X_j^T X_j. \quad (2)$$

We can denote the right-hand side as a constant B_{ij} :

$$B_{ij} = R_i^2 - R_j^2 - X_i^T X_i + X_j^T X_j.$$

Then equation (2) can be rewritten as follows

$$(X_j - X_i)^T X_Z = \frac{1}{2} B_{ij}.$$

This equation are system from $\square = C_N^k = \frac{N!}{k!(N-k)!}$ equations. In the

coordinate form, these equations unfold into the following system:

$$\aleph = \begin{cases} (x_2 - x_1) \cdot x_Z + (y_2 - y_1) \cdot y_Z + (z_2 - z_1) \cdot z_Z = \\ \quad = 0.5 \cdot (R_1^2 - R_2^2 - x_1^2 - y_1^2 - z_1^2 + x_2^2 + y_2^2 + z_2^2) \\ (x_3 - x_1) \cdot x_Z + (y_3 - y_1) \cdot y_Z + (z_3 - z_1) \cdot z_Z = \\ \quad = 0.5 \cdot (R_1^2 - R_3^2 - x_1^2 - y_1^2 - z_1^2 + x_3^2 + y_3^2 + z_3^2) \\ \vdots \\ (x_N - x_{N-1}) \cdot x_Z + (y_N - y_{N-1}) \cdot y_Z + (z_N - z_{N-1}) \cdot z_Z = \\ \quad = 0.5 \cdot (R_1^2 - R_N^2 - x_{N-1}^2 - y_{N-1}^2 - z_{N-1}^2 + x_N^2 + y_N^2 + z_N^2) \end{cases} \quad (4)$$

In vector form, this system can be written as

$$\aleph X_Z = \aleph, \quad (5)$$

Where the matrix of the system \aleph is

$$\aleph = \begin{pmatrix} (X_2 - X_1)^T \\ (X_3 - X_1)^T \\ \vdots \\ (X_n - X_{n-1})^T \end{pmatrix},$$

and vector of right-hand side \aleph is represented in the form

$$\mathfrak{R} = \begin{pmatrix} 1/2 B_{1,2} \\ 1/2 B_{1,3} \\ \vdots \\ 1/2 B_{n-1,n} \end{pmatrix},$$

where $B_{ij} = R_i^2 - R_j^2 + X_j^T X_j - X_i^T X_i$. The solution to this system is the vector X_z that is to be determined. If the rank of the matrix \mathfrak{R} is k , where $k = 2, 3$ – the measurements of the space (1 for the two-dimensional task, 2 for the three-dimensional), system (5) can be solved by any known method. As result we obtain the required vector X_z .

3.3 The second variant of the solution of the problem of intersection by remote measurements

The idea of the solution is to build linear equations system from the planes, which are areas of intersection of the circle.

We can write the distances values as R_1, R_2, \dots, R_N . Suppose, that they are given in Cartesian coordinate system.

Three spheres are intersect in the point X_z . Then we can write the equation of this plane. Because this plane is perpendicular to the vector $(X_j - X_i)$ that connects the centers of the spheres, i.e. known points, then in an implicit form its equation can be written as

$$(X_j - X_i)^T (X_z - Z_{i,j}) = 0,$$

where $Z_{i,j}$ - some known point, which is also in this plane. Divided known and unknown values, we can obtain equation

$$(X_j - X_i)^T X_z = (X_j - X_i)^T Z_{i,j}.$$

It remains to determine known points, which is in this plane. This plane intersect the vector $(X_j - X_i)$, and the known point is the point of intersection of the required plane and the vector $(X_j - X_i)$.

We can fix the point $T_{i,j}$, which is on the circle of the intersection of the spheres. Then the points $X_i, X_j, T_{i,j}$ are form a triangle with sides $|X_j - X_i|, R_i, R_j$. From the vertex $T_{i,j}$ on the straight, which is defined by two points X_i, X_j , we can put the height $h_{i,j}$. This height of the triangle is $h_{i,j} = \frac{2S_{i,j}}{|X_j - X_i|}$, where $S_{i,j}$ – the area of this triangle, which we can evaluate using Heron's formula, for example:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}. \quad (6)$$

So, in this case the formula (6) can be represent as

$$S_{i,j} = \sqrt{p_{i,j}(p_{i,j} - |X_j - X_i|)(p_{i,j} - R_i)(p_{i,j} - R_j)},$$

where is $p_{i,j} = \frac{|X_j - X_i| + R_i + R_j}{2}$ – half-perimeter. When on the straight, which is defined by two points X_i, X_j , we can evaluate the point $Z_{i,j}$, where the height $h_{i,j}$ from the point $T_{i,j}$ falls:

$$Z_{i,j} = X_i + \text{sign} \cdot \sqrt{R_i^2 - h_{i,j}^2} \cdot \frac{(X_j - X_i)}{|X_j - X_i|}. \quad (7)$$

In the formula (7) the variable *sign* is determine, in which direction the vector should be put off. This sign is determine from the following analysis:

- If $|X_j - X_i|^2 + R_i^2 > R_j^2$, that $\text{sign} = +$, i.e. the point $Z_{i,j}$ is between the points X_i, X_j or behind the point X_j (towards X_i).
- If $|X_j - X_i|^2 + R_i^2 < R_j^2$, that $\text{sign} = -$, i.e. the point $Z_{i,j}$ is behind the point X_i (towards X_j).
- If $|X_j - X_i|^2 + R_i^2 = R_j^2$, that we have the right-angled triangle whose height equivalent the catheter $h_{i,j} = (T_{i,j}, X_i)$; $Z_{i,j}$ equivalent the X_i . Here $\sqrt{R_i^2 - h_{i,j}^2} = 0$.

Since each triangle is formed by two unknowns and one known point, for four or more known points X_i that don't belong to the same plane, we can form the system from $\square = C_N^2 = \frac{N!}{2!(N-2)!}$ linear equations, or the next system

$$\left\{ \begin{array}{l} (X_2 - X_1)^T X_Z = (X_2 - X_1)^T Z_{1,2} \\ \vdots \\ (X_N - X_1)^T X_Z = (X_N - X_1)^T Z_{1,N} \\ \vdots \\ (X_j - X_i)^T X_Z = (X_j - X_i)^T Z_{i,j} \\ \vdots \\ (X_N - X_{N-1})^T X_Z = (X_N - X_{N-1})^T Z_{N-1,N} \end{array} \right. \quad (8)$$

Each of the equations, first, for example, in the coordinate form can be represented as the equation

$$\begin{aligned} & (x_2 - x_1) \cdot x_Z + (y_2 - y_1) \cdot y_Z + (z_2 - z_1) \cdot z_Z = \\ & = (x_2 - x_1) \cdot x_{Z1,2} + (y_2 - y_1) \cdot y_{Z1,2} + (z_2 - z_1) \cdot z_{Z1,2}, \end{aligned}$$

where $x_{Z1,2}, y_{Z1,2}, z_{Z1,2}$ – is the components of the vector $Z_{1,2}$, each of them can be calculate by formulas

$$\begin{aligned} x_{Z1,2} &= x_1 \pm \sqrt{R_1^2 - h_{1,2}^2} \cdot \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}, \\ y_{Z1,2} &= y_1 \pm \sqrt{R_1^2 - h_{1,2}^2} \cdot \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}, \\ z_{Z1,2} &= z_1 \pm \sqrt{R_1^2 - h_{1,2}^2} \cdot \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}, \end{aligned}$$

where $h_{1,2}$ is calculate as

$$p_{1,2} = 0.5 \left(\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} + R_1 + R_2 \right).$$

Denote the main vector of the plan as P_{ij} . Since the point X_Z is belong this plane so we can write the equation of the plan as

$$P_{ij} X_Z = b,$$

And, since the point Z_{ij} belong to this plane too, that $b = P_{ij} Z_{ij}$.

Unknown point belongs to the intersection of this planes, i.e. it's the solution of the system (6), where

$$\aleph = \begin{pmatrix} P_{1,2} \\ P_{1,3} \\ \vdots \\ P_{1,n} \\ P_{2,3} \\ \vdots \\ P_{2,n} \\ \vdots \\ P_{n-1,n} \end{pmatrix}, \aleph = \begin{pmatrix} P_{1,2}Z_{1,2} \\ P_{1,3}Z_{1,3} \\ \vdots \\ P_{1,n}Z_{1,n} \\ P_{2,3}Z_{2,3} \\ \vdots \\ P_{2,n}Z_{2,n} \\ \vdots \\ P_{n-1,n}Z_{n-1,n} \end{pmatrix}.$$

Thus, it is showed, that this task can be reduced to the linear equation system by several methods. If all the columns of the resulting matrix are linearly independent, that it can be obtained the coordinates of unknown point by the result of the solution this system [1, 4].

3.4 The solution of the problem of intersection in view of the displacement of the measuring device

The proposed methods of solution of this task assume conditions when the measurements are conducted from a reference point to an unknown point.

In fact, sometimes measurements are taken from a certain point in space, which is shifted from the reference, and the reception is also performed on some point shifted from the desired point. And this shifts are different. They can be translated into dimensional vectors.

Let us denote the displacement vectors from the control point where the device is located, how Ω_i – the shift from known points, or Ω_i – the shift from known point. Denote the displacement of reception points how Θ_i or Θ_Z , respectively. We assumed that measurements were made from the known points X_i to unknown point X_Z . When for the second solution, for example, the initial system (12) will be rewritten as

$$\left\{ \begin{array}{l} (X_2 + \Omega_2 - X_1 - \Omega_1)^T (X_Z + \Theta_Z) = (X_2 + \Omega_2 - X_1 - \Omega_1)^T Z_{1,2} \\ \vdots \\ (X_N + \Omega_N - X_1 - \Omega_1)^T (X_Z + \Theta_Z) = (X_N + \Omega_N - X_1 - \Omega_1)^T Z_{1,N} \\ \vdots \\ (X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i)^T (X_Z + \Theta_Z) = (X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i)^T Z_{i,j} \\ \vdots \\ (X_N + \Omega_N - X_{N-1} - \Omega_{N-1})^T (X_Z + \Theta_Z) = (X_N + \Omega_N - X_{N-1} - \Omega_{N-1})^T Z_{N,N-1} \end{array} \right. .$$

Expanding the brackets on the left side and transferring the known quantities to the right, we obtain a system of the form

$$\left\{ \begin{array}{l} (X_2 + \Omega_2 - X_1 - \Omega_1)^T X_Z = (X_2 + \Omega_2 - X_1 - \Omega_1)^T (Z_{1,2} - \Theta_Z) \\ \vdots \\ (X_N + \Omega_N - X_1 - \Omega_1)^T X_Z = (X_N + \Omega_N - X_1 - \Omega_1)^T (Z_{1,N} - \Theta_Z) \\ \vdots \\ (X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i)^T X_Z = (X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i)^T (Z_{i,j} - \Theta_Z) \\ \vdots \\ (X_N + \Omega_N - X_{N-1} - \Omega_{N-1})^T X_Z = (X_N + \Omega_N - X_{N-1} - \Omega_{N-1})^T (Z_{N-1,N} - \Theta_Z) \end{array} \right. .$$

It is necessary to take into account that the measurement is carried out from a certain point displaced relative to the reference point, i.e.

$$Z_{i,j} = X_i + \Omega_i + \text{sign} \cdot \sqrt{R_i^2 - h_{i,j}^2} \cdot \frac{(X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i)}{|X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i|}.$$

The perimeter of the triangle can be calculated taking to account the same fact. So, sides of the triangle have lengths $|X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i|, R_i, R_j$, and the half-perimeter can be calculated as

$$p_{i,j} = \frac{|X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i| + R_i + R_j}{2}.$$

Thus the perimeter of the triangle can be calculated as

$$h_{i,j} = \frac{2S_{i,j}}{|X_j + \Omega_j - X_i - \Omega_i|}.$$

The system for the first variant is rewritten similarly.

Similarly, the problem of geodesic intersection can be solved for the planar case. To do this, you can write similar systems of linear equations with the account that the vertical coordinate is absent $z = 0$.

3.5 Conditionality of the coefficient matrices

In the numerical solution of problems, researchers often encounter the notion of a number of conditionality. Conditionality estimates the proximity of the matrix of coefficients A to the singular one. The number of conditionality $cond(A)$ is a quantitative assessment of conditionality.

We note that always $cond(A) \geq 1$. If $1 \leq cond(A) \leq 100$ then it is said that the matrix A is ill-conditioned. If $1 \leq cond(A) \leq 100$ then it is said that the matrix is well-conditioned.

A system of equations is well-conditioned if small changes in the coefficients of the matrix or on the right side cause small changes in the solution.

A system of equations is ill-conditioned if small changes in the coefficients of the matrix or on the right side cause large changes in the solution.

The number $cond(A) = \|A\| \cdot \|A^{-1}\|$ is called the number of conditionality.

The number of conditionality is directly related to the notion of the norm of the matrix. In this paper we used the Euclidean norm to estimate the number of conditionality

$$\|A\|_F = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2}$$

Another method for estimating the number of conditionality using the singular matrix decomposition (SVD) is also considered. With this expansion, the matrix A of size $n \times k, n \geq k$ can be represented in the form

$$A = USV^T$$

where U – orthogonal matrix of size $n \times n$, V – orthogonal matrix of size $k \times k$, and the matrix S of size $n \times k$ has diagonal form, on the main diagonal of which there are numbers $\sigma_i > 0, i = 1, 2, \dots, r, r \leq k$ – the singular numbers of matrix A . From here it is possible to obtain an estimate of the number of conditionality as the ratio of the maximum singular number to the minimum:

$$cond(A) = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}},$$

Приложение Б

(справочное)

Фрагменты программ, разработанных в среде Mathcad

<p>+ Задача 1: Решение задачи с дистанционными измерениями. Пространственный случай. Минимальное количество измерений – 4. Система формируется как пересечение плоскостей, содержащих окружности</p> <p>Случай – когда известные точки сконцентрированы рядом, а неизвестная точка отстоит далеко</p> <pre> ORIGIN := 1 -- нумерация массивов начинается Num := 4 -- количество исходных точек scaX := 100 -- для укрупнения расстояний между ΔR := 0.5 -- погрешность измерения одной из -- дистанций </pre>	
<p>Постановка задачи</p> <p>Даны точки с известными координатами. Необходимо найти координаты неизвестной точки X_z.</p> $X_1 := \text{scaX}(0 \ 1.0 \ 1.0)^T \quad X_2 := \text{scaX}(1.0 \ 1.0 \ 0)^T \quad X_3 := \text{scaX}(1.0 \ 0 \ 1.0)^T$ $X_4 := \text{scaX}(2.0 \ 1.0 \ 1.0)^T \quad X_5 := X_1$ <p>Заданы дистанционные измерения от известных точек на неизвестную.</p> $\text{Rad}_1 := X_{\text{Accu}} - X_1 + 0.0\Delta R = 100 \quad \text{Rad}_2 := X_{\text{Accu}} - X_2 + 0.0\Delta R = 100$ $\text{Rad}_3 := X_{\text{Accu}} - X_3 + 0.0\Delta R = 100 \quad \text{Rad}_4 := X_{\text{Accu}} - X_4 + 0.0\Delta R = 100$ $\text{Rad}_5 := \text{Rad}_1$	<p>Ответ, который должен получиться в результате:</p> $X_{\text{Accu}} := \text{scaX}(1.0 \ 1.0 \ 1.0)^T$ $X_{\text{Accu}} = \begin{pmatrix} 100 \\ 100 \\ 100 \end{pmatrix}$ $X_3 = \begin{pmatrix} 100 \\ 0 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \text{Rad} = \begin{pmatrix} 100 \\ 100 \\ 100 \\ 100 \\ 100 \end{pmatrix}$
<p>Постановка задачи</p> <p>Формирование матрицы поворота</p> <p>Матрица поворота вектора по часовой стрелке</p> $\text{Rota}_1 := \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{Rota}_2 := \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$ $\text{C2N} := \frac{\text{Num}!}{2! \cdot (\text{Num} - 2)!}$ <p>$\text{C2N} = 1$ – количество уравнений (избыточный вариант)</p> <p>$\text{rot}_1 := 1 \quad \text{rot}_2 := 2 \quad \text{rot}_3 := 1$ Определяют какую из матриц поворота использовать</p> <p>$\text{rot}_4 := 2 \quad \text{rot}_5 := 2$</p>	$\text{Rota}_1 \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{Rota}_2 \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}$
<p>Формирование матрицы поворота</p> <p>Формирование избыточной матрицы</p>	

Рисунок Б.1 – Фрагмент программы для одиночных вычислений вторым вариантом решения задачи по вычислению координат определяемых точек

Num := 6 -- количество исходных точек

scaX := 100 -- для укрупнения расстояний между точками

ΔR := 0.2 -- погрешность измерения одной из дистанций

Постановка задачи

Составление системы уравнений

knd := 1 -- индексы элементов

C2N := $\frac{\text{Num}!}{2! \cdot (\text{Num} - 2)!}$

C2N = 15 -- количество уравнений

B :=

for ind ∈ 1.. Num - 1

for jnd ∈ ind + 1.. Num

TEMP_{knd} ← $(\text{Rad}_{\text{ind}})^2 - (\text{Rad}_{\text{jnd}})^2 - X_{\text{ind}}^T \cdot (X_{\text{ind}}) + X_{\text{jnd}}^T \cdot (X_{\text{jnd}})$

knd ← knd + 1

return TEMP

Поэлементное представление вектора X:

XXXX :=

for ind ∈ 1.. Num - 1

for jnd ∈ ind + 1.. Num

Xtemp ← $X_{\text{jnd}} - X_{\text{ind}}$ только для пространства 3D

for i ∈ 1.. 3

TEMP_{knd,i} ← Xtemp_i

knd ← knd + 1

return TEMP

Поэлементное представление вектора B:

B =

	1
1	0
2	0
3	$1.5 \cdot 10^4$
4	$1.5 \cdot 10^4$
5	0
6	0
7	$1.5 \cdot 10^4$
8	$1.5 \cdot 10^4$
9	0
10	$1.5 \cdot 10^4$
11	$1.5 \cdot 10^4$
12	0
13	0
14	$-1.5 \cdot 10^4$
15	$-1.5 \cdot 10^4$

XXXX =

	1	2	3
1	100	0	0
2	0	100	0
3	0	0	100
4	100	0	100
5	100	100	0
6	-100	100	0
7	-100	0	100
8	0	0	100
9	0	100	0
10	0	-100	100
11	100	-100	100
12	100	0	0
13	100	0	0
14	100	100	-100
15	0	100	-100

Составление системы уравнений

Решение системы уравнений

Вывод координат определяемых точек

Рисунок Б.2 – Фрагмент программы для одиночных вычислений первым вариантом решения задачи по вычислению координат определяемых точек

```

Answer := for iTest ∈ 1..CountTest
    REM ← "Заданы дистанционные измерения от известных точек на неизвестную."
    for ind ∈ 1..Num
        for jnd ∈ 1..nDim
            TEMPind,jnd ← ConfigiTest,(ind-1)·nDim+jnd
        for ind ∈ 1..Num
            
$$X_{ind} \leftarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

            for jnd ∈ 1..nDim
                
$$(X_{ind})_{jnd} \leftarrow TEMP_{ind,jnd}$$

        for ind ∈ 1..Num
            Radind ← MeasureiTest,ind
        REM ← "Позлементное формирование столбца "
        knd ← 1
        for ind ∈ 1..Num - 1
            for jnd ∈ ind + 1..Num
                
$$BFree_{knd} \leftarrow (Rad_{ind})^2 - (Rad_{jnd})^2 - X_{ind}^T \cdot (X_{ind}) + X_{jnd}^T \cdot (X_{jnd})$$

                knd ← knd + 1
            REM ← "Позлементное формирование матрицы "
            knd ← 1
            for ind ∈ 1..Num - 1
                for jnd ∈ ind + 1..Num
                    Xtemp ← Xjnd - Xind
                    for i ∈ 1..nDim
                        ACoeffknd,i ← Xtempi
                    knd ← knd + 1
                
$$XZ_{iTest} \leftarrow (ACoeff^T \cdot ACoeff)^{-1} (ACoeff^T \cdot BFree) \cdot \frac{1}{2}$$

            return 
$$\begin{pmatrix} ACoeff \\ BFree \\ X \\ Rad \\ XZ \end{pmatrix}$$


```

Найденные решения

контрольная
печать

$$Answer_S = \begin{pmatrix} \{3,1\} \\ \{3,1\} \\ \{3,1\} \end{pmatrix} \quad (Answer_S)_1 = \begin{pmatrix} -1.578 \times 10^{-7} \\ -5.137 \times 10^{-8} \\ 75 \end{pmatrix} \quad (Answer_S)_2 = \begin{pmatrix} -0.054 \\ -0.043 \\ 75.036 \end{pmatrix} \quad (Answer_S)_3 = \begin{pmatrix} -0.109 \\ -0.085 \\ 75.072 \end{pmatrix}$$

Расчёт уклонений от очного решения

Deviation := | for iTest ∈ 1..CountTest

Рисунок Б.3 – Фрагмент программы для многократных вычислений координат определяемых точек

Приложение В

(справочное)

Тексты программного кода, написанного в среде MATLAB

Текст файла-функции «*points.m*»:

```
function [x,y,z] = Points(r,R,N)
    eps = 0.001; %малое число
    %границы для долготы
    fi1 = 0;
    fi2 = 2*pi-eps;
    %границы для широты
    psi1 = -pi/2;
    psi2 = pi/2-eps;
    %задание нулевых массивов для координат
    ro = zeros(N,1);
    fi = zeros (N,1);
    psi = zeros(N,1);
    x = zeros(N,1);
    y = zeros (N,1);
    z = zeros(N,1);

    %формирование сферических координат
    i = 1:N;
    ro(i) = r+(R-r)*rand(1,N);
    fi(i) = fi1+(fi2-fi1)*rand(1,N);
    psi(i) = psi1+(psi2-psi1)*rand(1,N);

    %перевод из сферических координат в декартовы
    [x(i),y(i),z(i)] = sph2cart(psi(i),fi(i),ro(i));
end
```

Текст файла-функции «*points_cone.m*»:

```
function [x,y,z] = Points_cone(r,R,N)
    %границы для долготы
    fi1 = pi/6;
    fi2 = pi/3;
    %границы для широты
    psi1 = pi/6;
    psi2 = pi/3;
    %задание нулевых массивов для координат
    ro = zeros(N,1);
    fi = zeros (N,1);
    psi = zeros(N,1);
    x = zeros(N,1);
    y = zeros (N,1);
    z = zeros(N,1);

    %формирование сферических координат
    i = 1:N;
    ro(i) = r+(R-r)*rand(1,N);
    fi(i) = fi1+(fi2-fi1)*rand(1,N);
    psi(i) = psi1+(psi2-psi1)*rand(1,N);

    %перевод из сферических координат в декартовы
    [x(i),y(i),z(i)] = sph2cart(psi(i),fi(i),ro(i));
end
```

Текст файла-функции «*points_K.m*»:

```
function [x,y,z] = Points_K(r,R,N,K)
    eps = 0.001; %малое число
```

```

%границы для долготы
fi1 = 0;
fi2 = 2*pi-eps;
%границы для широты
psi1 = -pi/2;
psi2 = pi/2-eps;
%задние нулевых массивов для координат
ro = zeros (N+K,1);
fi = zeros (N+K,1);
psi = zeros (N+K,1);
x = zeros (N+K,1);
y = zeros (N+K,1);
z = zeros (N+K,1);

%формирование сферических координат
i = 1:N;
ro(i) = r+(R-r)*rand(1,N);
fi(i) = fi1+(fi2-fi1)*rand(1,N);
psi(i) = psi1+(psi2-psi1)*rand(1,N);

i = N:N+K; %генерация последней кратной точки
ro(i) = ro(N);
fi(i) = fi(N);
psi(i) = psi(N);

%перевод из сферических координат в декартовы
i = 1:N+K;
[x(i),y(i),z(i)] = sph2cart(psi(i),fi(i),ro(i));
end

```

Текст файла-сценария «*GeneratePoints.m*»:

```

clc
clear all
format compact

%%%%%%%%%%сферические координаты%%%%%%%%%%
%ro - радиус
%fi - долгота (0;2*pi)
%psi - широта (-pi/2;pi/2)
%%%%%%%%%%

r = 17; %радиус малой сферы
R = 20; %радиус большой сферы
N = 3; %количество точек
M = 10; %количество строк в файле

%генерация точек
A = zeros (M,3*N);

flag = 1; %0 - если необходимо создать файл с одинаковыми многократными
измерениями %1 - если необходимо создать файл с разными многократными
измерениями
if flag == 0
    [x,y,z] = Points(r,R,N);
    %формирование матрицы
    for i = 1:M
        k = 1;
        for j = 1:N
            A(i,k) = x(j);
            A(i,k+1) = y(j);
            A(i,k+2) = z(j);
            k = k+3;
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    %графическое отображение сгенерированных точек
    figure
    hold on;    grid on;
    [X,Y,Z] = sphere(r);
    surfl(X*r,Y*r,Z*r); alpha(0.7);
    surfl(X*R,Y*R,Z*R); alpha(0.2);
    shading interp
    scatter3(x,y,z)
    xlabel('x');    ylabel('y');    zlabel('z');
else
    for i = 1:M
        [x,y,z] = Points(r,R,N);
        k = 1;
        for j = 1:N
            A(i,k) = x(j);
            A(i,k+1) = y(j);
            A(i,k+2) = z(j);
            k = k+3;
        end
    end
end

%запись данных в файл
filename = 'points.txt'; %имя файла для сохранения
dlmwrite(filename,[M,N],'delimiter','\t','newline','pc');
dlmwrite(filename,A,'delimiter','\t','precision','%.3f','-
append','newline','pc');
type(filename);

```

Текст файла-сценария «*GeneratePoints_cone.m*»:

```

clc
clear all
format compact

r = 25; %радиус малой сферы
R = 50; %радиус большой сферы
N = 500; %количество точек
M = 10; %количество строк в файле

%генерация точек
A = zeros(M,3*N);

flag = 0;    %0 - если необходимо создать файл с одинаковыми многократными
измерениями    %1 - если необходимо создать файл с разными многократными
измерениями
if flag == 0
    [x,y,z] = Points_cone(r,R,N);
    %формирование матрицы
    for i = 1:M
        k = 1;
        for j = 1:N
            A(i,k) = x(j);
            A(i,k+1) = y(j);
            A(i,k+2) = z(j);
            k = k+3;
        end
    end
end
%графическое отображение сгенерированных точек
figure
hold on;    grid on;

```

```

[X,Y,Z] = sphere(r);
surf1(X*r,Y*r,Z*r); alpha(0.7);
surf1(X*R,Y*R,Z*R); alpha(0.2);
shading interp
scatter3(x,y,z)
xlabel('x');    ylabel('y');    zlabel('z');
else
    for i = 1:M
        [x,y,z] = Points_cone(r,R,N);
        k = 1;
        for j = 1:N
            A(i,k) = x(j);
            A(i,k+1) = y(j);
            A(i,k+2) = z(j);
            k = k+3;
        end
    end
end

%запись данных в файл
filename = 'points_cone.txt'; %имя файла для сохранения
dlmwrite(filename,[M,N],'delimiter','\t','newline','pc');
dlmwrite(filename,A,'delimiter','\t','precision','%3f','-
append','newline','pc');
type(filename);

```

Текст файла-сценария «GeneratePoints_K.m»:

```

clc
clear all
format compact
%вариант с многократным измерением на последнюю точку

r = 10; %радиус малой сферы
R = 20; %радиус большой сферы
K = 4; %количество кратности последней точки
N = 3; %количество точек
M = 10; %количество строк в файле

%генерация точек
A = zeros(M,3*(N+K-1));

flag = 0;    %0 - если необходимо создать файл с одинаковыми многократными
измерениями    %1 - если необходимо создать файл с разными многократными
измерениями
if flag == 0
    [x,y,z] = Points_K(r,R,N,K);
    %формирование матрицы
    for i = 1:M
        k = 1;
        for j = 1:N+K-1
            A(i,k) = x(j);
            A(i,k+1) = y(j);
            A(i,k+2) = z(j);
            k = k+3;
        end
    end
end

%графическое отображение сгенерированных точек
figure
hold on;    grid on;
[X,Y,Z] = sphere(r);
surf1(X*r,Y*r,Z*r); alpha(0.7);
surf1(X*R,Y*R,Z*R); alpha(0.2);
shading interp

```

```

scatter3(x,y,z)
xlabel('x');    ylabel('y');    zlabel('z');
else
    for i = 1:M
        [x,y,z] = Points_K(r,R,N,K);
        k = 1;
        for j = 1:N+K-1
            A(i,k) = x(j);
            A(i,k+1) = y(j);
            A(i,k+2) = z(j);
            k = k+3;
        end
    end
end

%запись данных в файл
filename = 'points_K.txt'; %имя файла для сохранения
dlmwrite(filename, [M,N,K], 'delimiter', '\t', 'newline', 'pc');
dlmwrite(filename, A, 'delimiter', '\t', 'precision', '%.3f', '-
append', 'newline', 'pc');
type(filename);

```

Текст файла-сценария «*GenerateDistances.m*»:

```

clc
clear all
format compact

%считывание данных из файла с координатами
filename = ('points.txt');
data = dlmread(filename);
M = data(1,1); %количество строк в файле
N = data(1,2); %количество точек
A = data(2:end,:); %матрица координат
d = zeros(M,N); %матрица для записи расстояний
%координаты неизвестной точки
Xaccu = 0;
Yaccu = 0;
Zaccu = 0;

%проверка на то, одинаковые ли строки в файле
if A(1,1) == A(2:end,1) %если строки одинаковые
    %вычисление дистанции
    for j = 1:M
        k = 1;
        for i = 1:N
            x(i) = A(j,k);
            y(i) = A(j,k+1);
            z(i) = A(j,k+2);
            k = k+3;
            d(j,i) = sqrt((x(i)-Xaccu)^2 + (y(i)-Yaccu)^2 + (z(i)-Zaccu)^2);
        end
    end
else %если строки разные
    %вычисление дистанции
    for j = 1:M
        k = 1;
        for i = 1:N
            x(j,i) = A(j,k);
            y(j,i) = A(j,k+1);
            z(j,i) = A(j,k+2);
            k = k+3;
            d(j,i) = sqrt((x(j,i)-Xaccu)^2 + (y(j,i)-Yaccu)^2 + (z(j,i)-
Zaccu)^2);
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end
%генерирование погрешности
delta = 0.005; %погрешность оптического дальномера на дистанции 0-100 м
error = -delta + (delta+delta)*rand(M,1);
%формирование новых значений расстояний с погрешностями
for i = 1:M
    for j = 1:N
        d(i,j) = d(i,j) + error(i);
    end
end
%формирование итоговой матрицы
res = zeros(M,2*N);
for i = 1:M
    k = 1;
    for j = 1:N
        res(i,k) = d(i,j);
        res(i,k+1) = error(i);
        k = k+2;
    end
end

%запись данных в файл
filename = 'distances.txt'; %имя файла для сохранения
dlmwrite(filename, [M,N], 'delimiter', '\t', 'newline', 'pc');
dlmwrite(filename, res, 'delimiter', '\t', 'precision', '%.3f', '-
append', 'newline', 'pc');
type(filename);

```

Текст файла-сценария «*GenerateDistances_K.m*»:

```

clc
clear all
format compact

%считывание данных из файла с координатами
filename = ('points_K.txt');
data = dlmread(filename);
M = data(1,1); %количество строк в файле
N = data(1,2); %количество точек
K = data(1,3);
A = data(2:end,:); %матрица координат
d = zeros(M,N+K-1); %матрица для записи расстояний
dR = 1; %ошибка измерения на последней кратной точке
%координаты неизвестной точки
Xaccu = 0;
Yaccu = 0;
Zaccu = 0;

%проверка на то, одинаковые ли строки в файле
if A(1,1) == A(2:end,1) %если строки одинаковые
    %вычисление дистанции
    for j = 1:M
        k = 1;
        for i = 1:N-1
            x(i) = A(j,k);
            y(i) = A(j,k+1);
            z(i) = A(j,k+2);
            k = k+3;
            d(j,i) = sqrt((x(i)-Xaccu)^2 + (y(i)-Yaccu)^2 + (z(i)-Zaccu)^2);
        end
        for i = N:N+K-1
            x(i) = A(j,k);

```



```

        y(i) = A(j,k+1);
        z(i) = A(j,k+2);
        k = k+3;
        d(j,i) = sqrt((x(i)-Xaccu)^2 + (y(i)-Yaccu)^2 + (z(i)-Zaccu)^2) +
dR;
    end
end
else %если строки разные
    %вычисление дистанции
    for j = 1:M
        k = 1;
        for i = 1:N-1
            x(j,i) = A(j,k);
            y(j,i) = A(j,k+1);
            z(j,i) = A(j,k+2);
            k = k+3;
            d(j,i) = sqrt((x(j,i)-Xaccu)^2 + (y(j,i)-Yaccu)^2 + (z(j,i)-
Zaccu)^2);
        end
        for i = N:N+K-1
            x(j,i) = A(j,k);
            y(j,i) = A(j,k+1);
            z(j,i) = A(j,k+2);
            k = k+3;
            d(j,i) = sqrt((x(j,i)-Xaccu)^2 + (y(j,i)-Yaccu)^2 + (z(j,i)-
Zaccu)^2) + dR;
        end
    end
end
%генерирование погрешности
delta = 0.005; %погрешность оптического дальномера на дистанции 0-100 м
for i = 1:M
    for j = 1:N+K-1
        error(i,j) = -delta + (delta+delta)*rand(1,1);
    end
end
%формирование новых значений расстояний с погрешностями
for i = 1:M
    for j = 1:N+K-1
        d(i,j) = d(i,j) + error(i,j);
    end
end
%формирование итоговой матрицы
res = zeros(M,2*(N+K-1));
for i = 1:M
    k = 1;
    for j = 1:N+K-1
        res(i,k) = d(i,j);
        res(i,k+1) = delta;
        k = k+2;
    end
end
%запись данных в файл
filename = 'distances_K.txt'; %имя файла для сохранения
dlmwrite(filename,[M,N],'delimiter','\t','newline','pc');
dlmwrite(filename,res,'delimiter','\t','precision','%3f','-
append','newline','pc');
type(filename);

```

Приложение Г

(справочное)

Основные классы приложения Geodetic

Листинг 1 – Интерфейс класса TFixedPnts

```
public ref class TFixedPnts : public TGeodeticCustom // ref
{ // стационарные точки
private:
protected:
public:
    TFixedPnts() {};
    TFixedPnts (string aFile) {};
    TFixedPnts (ifstream &aFile) : TGeodeticCustom (aFile) {};
    virtual ~TFixedPnts() {};
    virtual void LoadFromFile (string *aFile) override {};
    virtual void LoadFromFile (ifstream &aFin) override;
    virtual void SaveToFile (string aFile) {};
    virtual void ShowToDGV (DataGridView ^aDGV) override;
};
```

Листинг 2 – Интерфейс класса TDesignedPnts

```
public ref class TDesignedPnts : public TGeodeticCustom
{ // рассчитанные точки
private:
protected:
public:
    TDesignedPnts() {};
    TDesignedPnts (string aFile) {};
    TDesignedPnts (ifstream &aFile) : TGeodeticCustom (aFile) {};
    virtual ~TDesignedPnts() {};
    virtual void LoadFromFile (string *aFile) override {};
    virtual void LoadFromFile (ifstream &aFin) override;
    virtual void SaveToFile (string *aFile) override {};
    virtual void ShowToDGV (DataGridView ^aDGV) override;
public:
};
```

Листинг 3 – Интерфейс класса TUnexploredPnts

```
public ref class TUnexploredPnts : public TGeodeticCustom // ref
{ // неизвестные точки
private:
protected:
// int FObsCount; //TODO: МАССИВ
// TObservation *FObserv;
public:
    TUnexploredPnts() {};
    TUnexploredPnts (string aFile) {};
    TUnexploredPnts (ifstream &aFile) : TGeodeticCustom (aFile) {};
    virtual ~TUnexploredPnts() {};
    virtual void LoadFromFile (string *aFile) override {};
    virtual void LoadFromFile (ifstream &aFin) override;
    virtual void LoadFromFile (StreamReader ^aFin) override;
    virtual void SaveToFile (string *aFile) override {};
    virtual void ShowToDGV (DataGridView ^aDGV) override;
};
```

Листинг 4 – Интерфейс класса TSurveys

```

public ref class TSurveys : public TGeodeticCustom
{ // список измерений произведенных в проекте
private:
public: // protected: //TODO: временно ли
    unsigned int FSurveyCount; //TODO: МАССИВ
    TGeoSurvey *FSurveys;
public:
    TSurveys() {};
    TSurveys (string aFile) {};
    TSurveys (ifstream &aFile) : TGeodeticCustom (aFile) {};
    virtual ~TSurveys() {};
    virtual void LoadFromFile (string *aFile) override {};
    virtual void LoadFromFile (ifstream &aFin) override;
    virtual void LoadFromFile (StreamReader ^aFin) override {};
    virtual void SaveToFile (string *aFile) override {};
    virtual void ShowToDGV (DataGridView ^aDGV) override {};
    // virtual void ShowToDGV (DataGridView ^aDGV, int aInd, TSummarySurveys^ aSumm);
    // override;
    virtual void ShowToDGV (DataGridView ^aDGV, int aInd); // override;
    virtual void ShowToListBox (ListBox ^aLB); // override;

    virtual void ShowSurveysCombiPntsToDGV (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode,
    TSummarySurveys^ aSummSurv, // TSummarySurveysElement ^aSummSurvDist,

    TFixedPnts ^aFix, TDesignedPnts ^aDes, DataGridView ^adgvDis, DataGridView ^adgvDir);
    // override;
    virtual void ShowSurveysDirectPntsToDGV (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode,
    TSummarySurveysElement ^aSummSurvDist,

    TFixedPnts ^aFix, TDesignedPnts ^aDes, DataGridView ^aDGV); // override;
    virtual void ShowSurveysDistanPntsToDGV (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode,
    TSummarySurveysElement ^aSummSurvDist,

    TFixedPnts ^aFix, TDesignedPnts ^aDes, DataGridView ^aDGV); // override;
    void MakeListPntsCombi (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, TFixedPnts ^aFix,
    TDesignedPnts ^aDes, TXYZ *aPnts, TAngleDist * aAngDis,
    unsigned int aCnt, unsigned int&
    aCouD, unsigned int& aCouA);
    void MakeListPntsDirect (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, TFixedPnts ^aFix,
    TDesignedPnts ^aDes, TXYZ *aPnts, TAngleDist * aAngDis, unsigned int& aCou);
    void MakeListPntsDistan (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, TFixedPnts ^aFix,
    TDesignedPnts ^aDes, TXYZ *aPnts, TAngleDist * aAngDis, unsigned int& aCou);
    //virtual unsigned int
    void SurveysPerPntCount (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, // количество
    измерений на точку -- код базы, индекс точки
    TSummarySurveysElement ^aAll, TSummarySurveysElement ^aDirect,
    TSummarySurveysElement ^aDist);
    void SurveysDistPerPntCount (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, //
    количество измерений на точку -- код базы, индекс точки
    TSummarySurveysElement ^aAll, TSummarySurveysElement ^aDirect,
    TSummarySurveysElement ^aDist) {}; //?

    virtual void SurveysPerPntCount2 (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode,
    unsigned int &alCountPnts, unsigned int
    &alCountAll, unsigned int &alCountMax, unsigned int &alCountMin,
    unsigned int &drCountPnts, unsigned int
    &drCountAll, unsigned int &drCountMax, unsigned int &drCountMin,
    unsigned int &dsCountPnts, unsigned int
    &dsCountAll, unsigned int &dsCountMax, unsigned int &dsCountMin);
    virtual void SurveysPerPntCount4 (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode,
    unsigned int *alCountPnts, unsigned int
    *alCountAll, unsigned int *alCountMax, unsigned int &alCountMin,

```

```

        unsigned int *drCountPnts, unsigned int
*drCountAll, unsigned int *drCountMax, unsigned int &drCountMin,
        unsigned int *dsCountPnts, unsigned int
*dsCountAll, unsigned int *dsCountMax, unsigned int *dsCountMin) {};
public:
    property unsigned int SurveyCount {
        unsigned int get () {return FSurveyCount;};
//        void set (unsigned int aVal) {FCount = aVal;};
    }
};

```

Листинг 5 – Интерфейс класса TSolver

```

public ref class TSolver
{ // класс решатель задач
protected:
    unsigned int FPntsCount, FPntsCntFi, FPntsCntSe;
    TXYZ *FPnts;
    TAngleDist *FAngleDist;
    unsigned int FRowCount, FColCount;
    array <long double, 2>^ FCoeff;
    array <long double>^ FFree;
    array <long double>^ FAnswer;
public:
    TSolver() { FPntsCount = FPntsCntFi = FPntsCntSe = 0; FPnts = NULL; FAngleDist =
    NULL;
        FRowCount = FColCount = 0;
        FCoeff = nullptr; FFree = nullptr; FAnswer = nullptr;
    };
    ~TSolver() { delete[] FPnts, FAngleDist; };
    virtual void ConstructSystemOfCombi_060 (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode,
    TFixedPnts ^aFix, TDesignedPnts ^aDes, TSurveys ^aSurv);
    virtual void ConstructSystemOfCombi_080 (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode,
    TFixedPnts ^aFix, TDesignedPnts ^aDes, TSurveys ^aSurv);
    virtual void ConstructSystemOfDirect_010 (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode,
    TFixedPnts ^aFix, TDesignedPnts ^aDes, TSurveys ^aSurv);
    virtual void ConstructSystemOfDirect_030 (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode,
    TFixedPnts ^aFix, TDesignedPnts ^aDes, TSurveys ^aSurv);
    virtual void ConstructSystemOfDistan_010 (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode,
    TFixedPnts ^aFix, TDesignedPnts ^aDes, TSurveys ^aSurv);
    virtual void ConstructSystemOfDistan_070 (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode,
    TFixedPnts ^aFix, TDesignedPnts ^aDes, TSurveys ^aSurv);
//    virtual void MakeListPntsDist (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, //
    количество измерений на точку -- код базы, индекс точки
        //TSummarySurveysElement ^aAll,
    TSummarySurveysElement ^aDirect, TSummarySurveysElement ^aDist) {}; //?
    virtual void MakeListPntsCombi (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, TFixedPnts ^aFix,
    TDesignedPnts ^aDes, TSurveys ^aSurv);
    virtual void MakeListPntsDistan (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, TFixedPnts
    ^aFix, TDesignedPnts ^aDes, TSurveys ^aSurv);
    virtual void MakeListPntsDirect (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, TFixedPnts
    ^aFix, TDesignedPnts ^aDes, TSurveys ^aSurv);
    virtual void SolveSystem (DataGridView ^adgvU, DataGridView ^adgvV, DataGridView
    ^adgvS, bool aNeed);
    virtual void ShowToDGV (DataGridView ^adgvCoeff, DataGridView ^adgvFree);
    virtual void ShowToTextBox (TextBox ^adgvX, TextBox ^adgvY, TextBox ^adgvZ,
    TMeasureTask aMeasTask, int aType,
        DataGridView ^adgvMA, bool aNeedMA);
}; // TSolver

```

Листинг 6 – Интерфейс процедуры формирования предварительного списка опорных точек

```
void TSurveys::MakeListPntsDistan (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, TFixedPnts ^aFix,
TDesignedPnts ^aDes, TXYZ *aPnts, TAngleDist *aAngDis, unsigned int &aCou)
{
    aCou = 0;
    for (unsigned int ind = 0; ind < FSurveyCount; ind++)
    {
        if (((FSurveys[ind].CodeSourceDB == dbCode) && (FSurveys[ind].IndexSource ==
aCode)) ||
            ((FSurveys[ind].CodeDestinDB == dbCode) && (FSurveys[ind].IndexDestin
== aCode))) // измерения были на эту точку
        {
            TMeasureType auxCD = static_cast<TMeasureType> (FSurveys
[ind].CodeDirect);
            if (auxCD == TMeasureType::mtDistance) // дистанционные
            { int indKnown = -1, codeKnown = cdbNoDef; if
(FSurveys[ind].CodeSourceDB != dbCode) {codeKnown = FSurveys[ind].CodeSourceDB; indKnown =
FSurveys[ind].IndexSource;};
              if (FSurveys[ind].CodeDestinDB != dbCode) {codeKnown =
FSurveys[ind].CodeDestinDB; indKnown = FSurveys[ind].IndexDestin;};
              if (codeKnown == cdbFixed)
                  for (unsigned int indF = 0; indF < aFix->Count; indF++)
                      if (indKnown == aFix->CodeOf [indF])
                      {
                          aPnts [aCou].X = aFix->CoordOf [indF].X;
                          aPnts [aCou].Y = aFix->CoordOf [indF].Y;
                          aPnts [aCou].Z = aFix->CoordOf [indF].Z;
                          aAngDis [aCou].Dist =

FSurveys[ind].Datas.Dist;

                          aCou++;

                          break;
                      }
                  // } for indF
              if (codeKnown == cdbDesigned) подпрограмму
                  for (unsigned int indD = 0; indD < aDes->Count; indD++)
                      if (indKnown == aDes->CodeOf [indD])
                      {
                          aPnts [aCou].X = aDes->CoordOf [indD].X;
                          aPnts [aCou].Y = aDes->CoordOf [indD].Y;
                          aPnts [aCou].Z = aDes->CoordOf [indD].Z;
                          aCou++;
                          break;
                      }
                  // } for indF
            }
        } // for ind
    } // MakeListPntsDistan
}
```

Листинг 7 – Интерфейс процедуры отображения информации об измерениях дистанций на заданную определяемую точку

```
void TSurveys::ShowSurveysDistanPntsToDGV (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode,
TSummarySurveysElement ^aSummSurvDistan,
TFixedPnts ^aFix,
TDesignedPnts ^aDes, DataGridView ^aDGV)
{
    aDGV->RowCount = aSummSurvDistan->CountPnts;
    int index = 0 ;
    for (unsigned int ind = 0; ind < FSurveyCount; ind++)
```

```

        {
            if (((FSurveys[ind].CodeSourceDB == dbCode) && (FSurveys[ind].IndexSource ==
aCode)) ||
                ((FSurveys[ind].CodeDestinDB == dbCode) && (FSurveys[ind].IndexDestin
== aCode))) // измерения были на эту точку
            {
                TMeasureType auxCD = static_cast<TMeasureType> (FSurveys
[ind].CodeDirect);
                if (auxCD == TMeasureType::mtDistance) // дистанционные
                {int indKnown = -1, codeKnown = cdbNoDef;
                 if (FSurveys[ind].CodeSourceDB != dbCode) {codeKnown =
FSurveys[ind].CodeSourceDB; indKnown = FSurveys[ind].IndexSource;};
                 if (FSurveys[ind].CodeDestinDB != dbCode) {codeKnown =
FSurveys[ind].CodeDestinDB; indKnown = FSurveys[ind].IndexDestin;};
                 if (codeKnown == cdbFixed)
                     for (unsigned int indF = 0; indF < aFix->Count; indF++)
                         if (indKnown == aFix->CodeOf [indF])
                         {
                             aDGV->Rows[index]->Cells[0]->Value = index + 1;
                             String ^auxS = Marshal::PtrToStringAnsi((IntPtr)
(char *) aFix->GetName (indF).c_str());
                             aDGV->Rows[index]->Cells[1]->Value = auxS;

                             aDGV->Rows[index]->Cells[2]->Value = FSurveys
[ind].Datas.Dist;
                             aDGV->Rows[index]->Cells[3]->Value = aFix->CoordOf
[indF].X;
                             aDGV->Rows[index]->Cells[4]->Value = aFix->CoordOf
[indF].Y;
                             aDGV->Rows[index]->Cells[5]->Value = aFix->CoordOf
[indF].Z;

                             aDGV->Rows[index]->Cells[6]->Value = 1;
                             index++;
                             break;
                         }
                        // } for indF
                    if (codeKnown == cdbDesigned)
                        for (unsigned int indD = 0; indD < aDes->Count; indD++)
                            if (indKnown == aDes->CodeOf [indD])
                            {
                                String ^auxS = Marshal::PtrToStringAnsi((IntPtr)
(char *) aDes->GetName (indD).c_str());
                                aDGV->Rows[ind]->Cells[1]->Value = auxS;
                                aDGV->Rows[ind]->Cells[3]->Value = aDes->CoordOf
[indD].X;
                                aDGV->Rows[ind]->Cells[4]->Value = aDes->CoordOf
[indD].Y;
                                aDGV->Rows[ind]->Cells[5]->Value = aDes->CoordOf
[indD].Z;

                                break;
                            }
                        // } for indF
                }
            } // for ind
        } // ShowSurveysDistanPntsToDGV

```

Листинг 8 – Интерфейс процедуры формирования матрицы коэффициентов и вектора свободных членов первым способом

```

void TSolver::ConstructSystemOfDistan_010 (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, TFixedPnts
^aFix, TDesignedPnts ^aDes, TSurveys ^aSurv)
{ // матрица коэффициентов для задачи дистанционных измерений 010

```

```

MakeListPntsDistan (dbCode, aCode, aFix, aDes, aSurv);
unsigned int cou = FPntsCount; // aSurv->SurveyCount;
FRowCount = BINION (FPntsCount); FColCount = SIZEOFSPACE; //TODO: ИСПРАВИТЬ
FCoeff = gcnew array <long double, 2> (FRowCount, FColCount);
unsigned int knd = 0;
for (unsigned int ind = 0; ind < cou - 1; ind++)
    for (unsigned int jnd = ind + 1; jnd < cou; jnd++)
    {
        FCoeff [knd, 0] = FPnts [jnd].X - FPnts [ind].X;
        FCoeff [knd, 1] = FPnts [jnd].Y - FPnts [ind].Y;
        FCoeff [knd, 2] = FPnts [jnd].Z - FPnts [ind].Z;
        knd++;
    }
// свободные коэффициенты
FFree = gcnew array <long double> (FRowCount);
knd = 0;
for (unsigned int ind = 0; ind < cou - 1; ind++)
    for (unsigned int jnd = ind + 1; jnd < cou; jnd++)
    {
        FFree [knd++] = 0.5 * (FAngleDist [ind].Dist * FAngleDist [ind].Dist -
        FAngleDist [jnd].Dist * FAngleDist [jnd].Dist -
        SCALAR (FPnts [ind]) + SCALAR (FPnts [jnd]));

        //knd++;
    }
} // ConstructSystemOfDistan_010

```

Листинг 9 – Интерфейс процедуры формирования матрицы коэффициентов и вектора свободных членов вторым способом

```

void TSolver::ConstructSystemOfDistan_070 (TCodeDB dbCode, unsigned int aCode, TFixedPnts
^aFix, TDesignedPnts ^aDes, TSurveys ^aSurv)
{ // матрица коэффициентов для задачи дистанционных измерений 010
    MakeListPntsDistan (dbCode, aCode, aFix, aDes, aSurv);
    unsigned int cou = FPntsCount;
    FRowCount = FPntsCount; FColCount = SIZEOFSPACE + 1;
    FCoeff = gcnew array <long double, 2> (FRowCount, FColCount);
    unsigned int knd = 0;
    for (unsigned int ind = 0; ind < cou; ind++) {
        FCoeff [ind, 0] = 1.0;
        FCoeff [ind, 1] = - 2.0 * FPnts [ind].X;
        FCoeff [ind, 2] = - 2.0 * FPnts [ind].Y;
        FCoeff [ind, 3] = - 2.0 * FPnts [ind].Z;
        knd++;
    } // for ind
    // свободные коэффициенты
    FFree = gcnew array <long double> (FRowCount);
    knd = 0;
    for (unsigned int ind = 0; ind < cou; ind++) {
        FFree [ind] = FAngleDist [ind].Dist * FAngleDist [ind].Dist - SCALAR (FPnts
[ind]);
    } // for ind
} // ConstructSystemOfDistan_070

```

Приложение Д

(справочное)

Определение временных затрат на проект

Название работы	Исполнители	Трудоемкость									Длительность работ в рабочих днях			Длительность работ в календарных днях		
		tmin			tmax			тожд								
		И1	И2	И3	И1	И2	И3	И1	И2	И3	И1	И2	И3	И1	И2	И3
Выбор темы ВКР	Студент Руководитель	5	5	5	7	7	7	5,8	5,8	5,8	2,9	2,9	2,9	4	4	4
Получение технического задания	Студент Руководитель	2	4	5	4	8	10	2,8	5,6	7	1,4	2,8	3,5	2	4	5
Подбор материала, его анализ и обобщение	Студент	5	5	5	10	10	10	7	7	7	7	7	7	10	10	10
Формирование возможных решений поставленной задачи, выбор оптимального решения	Студент	11	15	13	15	20	17	12,6	17	14,6	12,6	17	14,6	18	24	20
Программная реализация компьютерной модели	Студент	27	35	38	41	54	56	32,6	42,6	45,2	32,6	42,6	45,2	46	60	63
Тестирование модели	Студент	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	14	14	14
Исправление ошибок, доработка модели	Студент	7	10	10	10	15	20	8,2	14	14	8,2	14	14	11	20	20
Проведение исследований, получение результатов и их анализ	Студент	8	15	20	15	20	20	10,8	17	20	10,8	17	20	15	24	28
Составление отчета о проделанной работе	Студент	7	5	10	10	10	17	8,2	7	12,8	8,2	7	12,8	11	10	18
Оценка эффективности полученных результатов	Студент Руководитель	17	17	17	21	21	21	18,6	18,6	18,6	9,3	9,3	9,3	13	13	13
Защита ВКР	Студент	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Итого								102,8	136,6	147	103,8	130,4	140,1	145	183	196

Приложение Е
(справочное)
Диаграмма Ганта

№	Название работы	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																							
				декабрь			январь			февра ль			март			апрель			май			июнь					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Выбор темы ВКР	Студент Руководитель	4																								
2	Получение технического задания	Студент Руководитель	2																								
3	Подбор материала, его анализ и обобщение	Студент	10																								
4	Формирование возможных решений поставленной задачи, выбор оптимального решения	Студент	18																								
5	Программная реализация компьютерной модели	Студент	46																								
6	Тестирование модели	Студент	14																								
7	Исправление ошибок, доработка модели	Студент	11																								
8	Проведение исследований, получение результатов и их анализ	Студент	15																								
9	Составление отчета о проделанной работе	Студент	11																								
10	Оценка эффективности полученных результатов	Студент Руководитель	13																								
11	Защита ВКР	Студент	1																								
	 -студент	 -руководитель																									